



# **Enro -Energiaa rossista**

## Mittausdatan analysointi

Arttu Lehtonen

Opinnäytetyö  
Joulukuu 2011  
Rakennustekniikan koulutusohjelma  
Talonrakennustekniikka  
Tampereen ammattikorkeakoulu

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Rakennustekniikan koulutusohjelma  
Talonrakennustekniikka

LEHTONEN, ARTTU: Enro -Energiaa rossista, Mittausdatan analysointi  
Opinnäytetyö 37 s., liitteet 21 s.  
Joulukuu 2011

---

Tässä opinnäytetyössä analysoitiin Enro -Energiaa rossista -projektissa kerättyä mittausdataa ja tehtiin sen perustella arvioita järjestelmän toimivuudesta pientalon lämmitysjärjestelmänä. Mittauksia suoritettiin mm. maaperän lämpötilasta, ryömintätilan ja rakenteiden ilmakehän lämpötilasta ja ilman suhteellisesta kosteudesta ja rakennusten energiankäytöstä. Mittausdataa kerättiin vuoden ajan tutkimuskohteesta ja vertailutalosta. Analyysin yhteydessä pyrittiin selvittämään ongelmien syitä ja esittämään parannusehdotuksia järjestelmään.

Mittausten perusteella maaperästä siirtyy lämpöä ryömintätilaan ja tätä lämpöä voi hyödyntää ilmalämpöpumpun avulla. Samalla huomattiin rossin lämpötilan huomattava lasku ja tästä johtuva suhteellisen ilmankosteuden nousu. Kosteuslisää siirtyy maaperästä rossin ilmaan lämpötilan ollessa rossissa maaperää kylmempi samalla maaperän kosteuspitoisuuden ollessa rossin ilmaa suurempi. Teoriassa höyrystinyksikkö toimii kuivaimena, mutta käytännössä muuttuvat olosuhteet aiheuttavat kuivausta suuremman kosteuslisän maaperästä. Mittauksissa havaittiin kohonneita kosteuspitoisuuksia myös alapohjarakenteissa. Energiamittauksista ei saatu vertailukelpoisia tuloksia asukkaiden muutettua asuntoihin kesken vertailukauden ja rossin viilenenyt liiaksi mittausjakson alussa eristysten puutteen vuoksi. Viileneminen vaikuttaa kaikkiin mittaus tuloksiin ja johtopäätöksiin.

Projektin tuloksien perusteella on syytä parantaa alapohjan tuuletusta ja huomioida paremmin rossin kosteustekninen toiminta tulevaisuudessa. Mittauksia kohteella on syytä jatkaa, jotta saadaan ongelmaton ja vertailukelpoinen jakso mittausdataa koko lämmityskauden ajalta.

---

Asiasanat: ryömintätilainen alapohja, rossi, lämpöpumppu, vesi-ilmalämpöpumppu, kosteus, lämpö

## ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme in Civil Engineering  
Option of Structural Engineering

LEHTONEN, ARTTU: Enro -Energy From Subfloor Space, Analysis of Measurements Data

Bachelor's thesis 37 pages, appendices 21 pages  
December 2011

---

This bachelor's thesis analyses measurement data of Enro -project. The goal of thesis was to evaluate the heating system of Enro -project as heating system for a detached housing. The measured objects were e.g. temperature of ground, moisture and temperature in subfloor space and structures and energy usage of the buildings. The measurements continued for a year in research subject building and point of comparison building. During the analysis reasons for problems and improvement suggestions were introduced.

The measurements indicate rise of warmth from the soil. This energy can be used via heating pump. Drop of temperature in subfloor space and structures and rise in relative humidity were noticed. The reason for moisture regain was humidity rising from the soil. Temperature is lower in the subfloor space than in the soil and absolute humidity is higher in the ground causing moisture to move towards air in subfloor space. In theory the evaporator unit of heat pump should work as a drier, but in practice the moisture regain is higher than the drying effect. Energy measurements were incomplete because of the temperature drop in the beginning of the measurements and residents moving during the period of measurements. The temperature drop in the beginning has effects on the data.

Based on the project results the ventilation and moisture technical function of the subfloor space should be improved in the future projects. The measurements at the site should be continued for another heating period so that a trouble-free and comparable period of measurements can be achieved.

---

Key words: subfloor space, heating pump, moisture, temperature, evaporator

## Sisältö

TIIVISTELMÄ .....	2
ABSTRACT .....	3
1 JOHDANTO .....	6
1.1 Enro -Energiaa rossista .....	6
1.2 Tehtävät ja tavoitteet .....	6
2 MITTAUSJÄRJESTELMÄ .....	7
2.1 Mitattavat kohteet .....	7
2.2 Mittausten analysointityökalu .....	8
2.3 Ongelmakohdat mittauksissa .....	8
3 MITTAUSTULOKSET .....	10
3.1 Maanlämpö .....	10
3.1.1 Mittausten tarkoitus .....	10
3.1.2 Mittaustulokset .....	10
3.2 Kosteusmittaukset .....	14
3.2.1 Ryömintätilan ilmankosteus ja lämpötila .....	14
3.2.1.1 Mittausten tarkoitus .....	14
3.2.1.2 Mittaustulokset .....	15
3.2.2 Alapohjan rakenteiden ja ilmakehän kosteustilanne .....	17
3.2.2.1 Mittausten tarkoitus .....	17
3.2.2.2 Ilmankosteuden ja lämpötilan mittaustulokset .....	18
3.2.2.3 Puupalkiston kosteusmittaukset .....	21
3.3 Höyrystimeen tiivistyvä vesimäärä .....	25
3.4 Energiamittaukset .....	28
4 JOHTOPÄÄTÖKSIÄ .....	29
4.1 Kosteustekninen toiminta .....	29
4.1.1 Homeriskimalli .....	31
4.1.2 Alapohjan ilmakehän parannukset .....	32

4.2 Energiatarkastelu .....	35
5 YHTEENVETO.....	36
LÄHTEET .....	37
LIITTEET .....	38

## 1 JOHDANTO

### 1.1 Enro -Energiaa rossista

Tässä opinnäytetyössä käsitellään Enro -Energiaa rossista -projektiin (myöhemmin Enro -projekti) liittyviä vuoden ajan jatkuneita mittauksia. Mittaukset ovat alkaneet lokakuussa 2010. Projekti on osa Tekesin Kestävä Yhdyskunta 2007 – 2012 ohjelmaa. Enro -projektissa tutkitaan Antero Salakarin keksimää ja patentoimaa lämmitysjärjestelmää, jossa vesi-ilmalämpöpumpun höyrystinyksikkö sijoitetaan paritalon rossipohjaan, eli ryömintätilaiseen alapohjaan. Tällä pyritään hyödyntämään maaperästä nouseva lämpö ja vesihöyryn tiivistymisestä vapautuva energia talon lämmittämiseen. Tutkimuskohteena on kaksi Vantaan Tuulensuuntielle rakennettua paritaloa, joista varsinaisessa tutkimuskohteessa on alapohjaratkaisuna lähes tuulettumaton lämpöeristetty rossipohja ja vertailutalossa maanvarainen betonilaatta. Opinnäytetyössä käsitellään mittauksissa vuoden aikana kertynyttä dataa aikaväliltä 29.10.2010 - 31.10.2011.

Enro-projekti on esitelty kokonaisuudessaan tarkemmin Jukka Nissilän opinnäytetyössä (Energiaa rossista, Oulun seudun ammattikorkeakoulu 2/2011). Kyseisessä opinnäytetyössä perehdytään projektissa esitellyn pientalon lämmitysjärjestelmän teoreettiseen toimintaan.

### 1.2 Tehtävät ja tavoitteet

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on analysoida Enro -projektiin liittyvistä mittauksista vuoden aikana kerääntynyt data ja testata lämmitysjärjestelmän toimintaperiaatteeseen liittyvää teoriaa ja järjestelmän toimivuutta käytännön olosuhteissa. Samalla selvitetään järjestelmän mahdollisia ongelmakohtia. Mittauksilla tutkitaan rossista otetun energian vaikutusta routiintumiseen, ilmankosteuteen ja lämpöön rossissa ja alapohjan rakenteiden ilmatilassa sekä rakennuskosteuteen alapohjan rakenteissa. Lisäksi tutkitaan rakennuksen energiankäyttöä mittaamalla energiankulutusta ja höyrystinyksikköön tiivistyvää vesimäärää. Pää tavoite projektissa on todentaa järjestelmän toimivuus pientalojen lämmitysjärjestelmänä ja varmistaa turvallinen ja terveellinen asuminen kohteessa.

## 2 MITTAUSJÄRJESTELMÄ

### 2.1 Mitattavat kohteet

Mittausjärjestelmä kerää kaikista mittauspisteistä dataa tunnin välein ja lähettää sen kerran vuorokaudessa sähköpostitse haluttuun sähköpostiosoitteeseen. Data siirtyy tekstimuotoisena ja on käsiteltävissä esimerkiksi Excel-ohjelman avulla. Järjestelmän on toimittanut Pietiko Oy ja kehittänyt yhteistyössä Tampereen ammattikorkeakoulun kanssa Envic Oy. Mittauslaitteisto on esitelty kokonaisuudessaan tarkemmin Risto Stenforsin opinnäytetyössä (Etäluettava mittausjärjestelmä rakennusteknisen tutkimuksen apuna, TAMK 4/2011).

Tutkimuskohteessa (myöhemmin talo A) mitattiin ajanjakson aikana maaperän lämpötiloja rakennuksen alla neljästä eri mittauspisteestä ja rakennuksen ulkopuolelta kahdesta eri pisteestä, kustakin kahdelta eri syvyydeltä maanpintaan nähden. Mittalaitteiden kanavaan 1 kytketyt anturit on kaivettu n. 10 cm syvyyteen ja kanavaan 2 kytketyt anturit n. 50 cm syvyyteen. Vertailutalossa (talo B) on maalämpöanturit sijoitettu maanvaraisen laatan alle ja talon ulkopuolelle vastaaville kohdille rakennusta.

Ryömintätilan kosteusteknistä toimintaa tutkittiin mittaamalla suhteellista kosteutta ja lämpötilaa neljästä eri mittauspisteestä. Anturit on sijoitettu ryömintätilaan vapaaseen ilmaan noin metrin korkeudelle ryömintätilan pohjasta.

Alapohjan rakenteissa on palkkien välissä ilmatila, jonka kautta on tarkoitus tuoda korvausilma rakennuksen ilmanvaihtoon. Tällä on tarkoitus esilämmittää tuloilma ja hyödyntäen rossipohjassa olevaa lämpöenergiaa. Rakenteiden ilmakanan suhteellista kosteutta ja lämpötilaa mitattiin neljästä pisteestä.

Alapohjan puupalkiston kosteustilannetta tutkittiin mittaamalla piikkiantureilla puupalkiston kosteutta. Puupiikkiantureiden toimintaongelmien vuoksi tutkimuksen aikana suoritettiin tarkastusmittauksia kahteen otteeseen neljästä eri kohdasta ja tehtiin rakenneavaus kahdesta kohdasta.

Energiankulutusmittausten kohteena on projektissa vesi-ilmalämpöpumppu, vesi-ilmalämpöpumpun höyrystimen sulatusvastus ja varaajan sähkövastus sekä talon A että talon B osalta. Mittauksia suoritetaan pulssimittauksina, joilla saadaan tietoa rakennusten sähköverkosta ottamasta energiamäärästä.

Höyrystimeen tiivistyvän vesimäärän mittaukset aloitettiin vasta 6.6.2011 mittalaitteen asennusongelmien vuoksi. Vesimäärän mittaus tapahtuu mittalaitteella, jossa kippivaaka täyttyy 8 ml vesimäärästä ja antaa anturille pulssin merkiksi aina kun vaaka tyhjenee. Vesimäärän perusteella on mahdollista arvioida höyrystimen tiivistämää vesimäärää ja tiivistymisestä vapautuvaa energiaa.

Mittausjärjestelmän antureiden sijainnit, anturityypit ja mittausjärjestelmässä käytettävät kanavat näkyvät liitteenä olevassa anturikartassa.

## 2.2 Mittausten analysointityökalu

Tampereen ammattikorkeakoulu on kehittänyt mittausdatan analysointia varten excel -pohjaisen työkalun jolla voi laskea kertyneistä mittauksista keskiarvoja halutuin välein. Data on käsitelty pääosin 24 otoksen keskiarvoina joilla on tarkoituksena eliminoida mahdollisia mittausvirheitä ja koostaa materiaali luettavampaan muotoon. Pitkän aikavälin seurannassa kerran vuorokaudessa saatava mittaustulos on riittävän tarkka ja tarkoituksenmukainen.

## 2.3 Ongelmakohdat mittauksissa

Mittaukset alkoivat 29.10.2010 molemmissa kohteissa. Mittaukset ovat olleet käytössä keskeytyksettä, lukuun ottamatta 26.11. - 10.12. välisenä aikana ollutta käyttökatkosta talossa A. Höyrystimeen tiivistyvän veden mittaaminen aloitettiin 6.6.2011. Mittalaitetta ei pystytty asentamaan ennen maaperän jäätymistä edellisenä syksynä, joten kohdetta ei ole mitattu kuluneen talven aikana. Runsaas veden tiivistyminen ennen mittauslaitteiston käyttöönottoa on pyritty todentamaan valokuvaamalla höyrystimen alle kerääntyvää jääkerrostumaa.

Perusmuurin lämmöneristys rossissa asennettiin vasta kelien jo viilennettyä syksyllä 2010 ja rossitila pääsi viilenemään pakkasen puolelle. Tästä syystä



järjestelmän toiminta ei ole ensimmäisen talven aikana ollut optimaalista. Tämä vaikuttaa todennäköisesti kaikkiin mitattuihin tuloksiin ja täytyy ottaa huomioon tuloksia arvioidessa. Mittausjaksoon kuulunut talvi oli poikkeuksellisen kylmä, joten käsiteltävät mittaukset kuvaavat pitkällä aikavälillä eräänlaista ääriolosuhdetta.

13.6. tehtiin tarkistusmittauksia joiden perusteella todettiin alapohjan palkistossa korkeita kosteuslukemia. Välittömästi tämän jälkeen avattiin alapohjan tuuletusluukut ja aloitettiin rakenteiden ilmatilan koneellinen ilmanvaihto. Tämä vaikuttaa mittaustuloksiin ja järjestelmän toimintaan. Korvausilmaa rakennuksen ilmanvaihtoon ei ole mahdollista ottaa alkuperäisen suunnitelman mukaisesti paikallisen rakennusvalvonnan estettyä järjestelmän käytön.

Rakennuksen energiamäärien mittauksissa mittaustuloksia vääristää se, että asukkaat muuttivat vasta loppukevään aikana kaikkiin huoneistoihin. Energian kulutusmittauksia on syytä jatkaa pidempään, jotta saadaan vertailukelpoisia mittaustuloksia kohteesta ja vertailutalosta. Talon B osalta mittausdatasta näkyy vesi-ilmalämpöpumpun osalta useita käyttökatkoksia ja muita jaksoja joiden osalta dataa ei ole kertynyt. Tässä opinnäytetyössä esitellään alustavia tuloksia energiankulutuksesta ja tarkemmin tulokset käsitellään kun mittausdataa on kertynyt riittävästi vertailukelpoiselta ajanjaksolta.

### 3 MITTAUSTULOKSET

Tässä luvussa esitellään mittaustulokset ja analysoidaan kertynyt data. Tulokset esitellään mitattavan kohteen mukaan.

#### 3.1 Maanlämpö

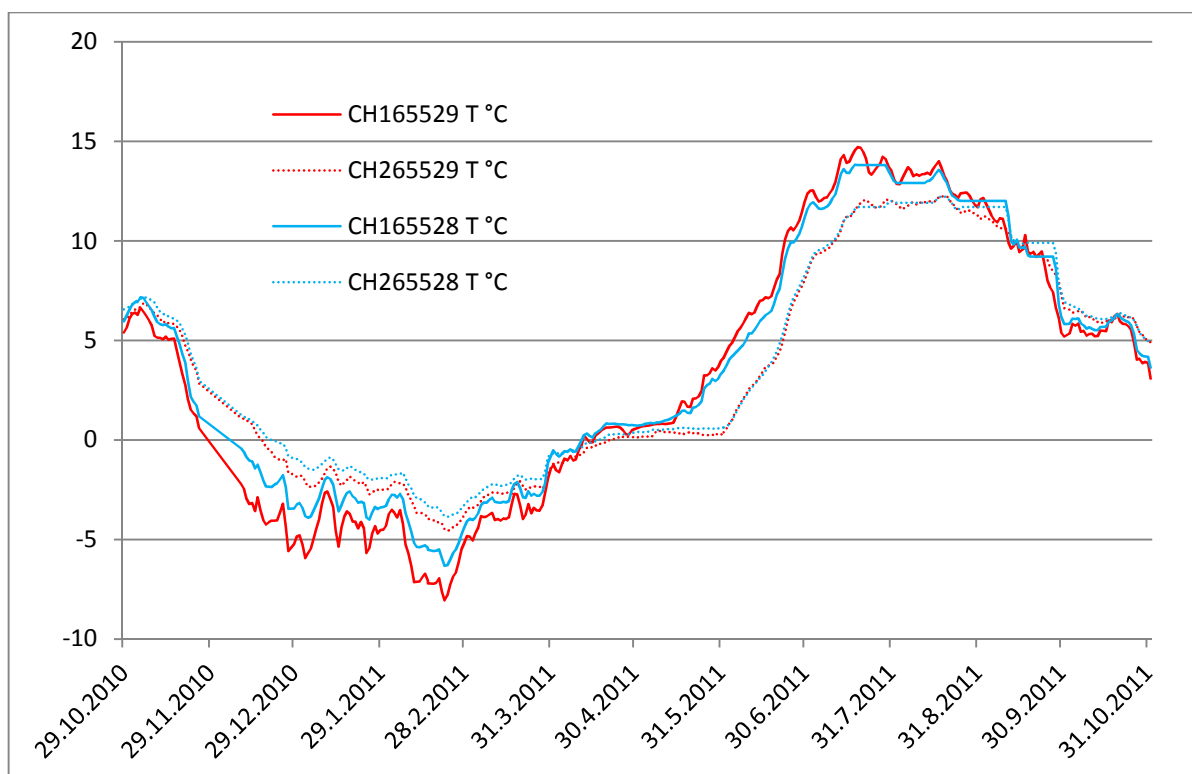
##### 3.1.1 Mittausten tarkoitus

Maaperän lämpötilan mittauksilla on tarkoitus todentaa maaperästä nouseva lämpö ja seurata energian oton vaikutusta maaperän lämpötilaan vuoden aikana ja samalla selvittää aiheuttaako järjestelmä routiintumisriskiä maaperän kylmenemisen myötä. Mittauksia suoritettiin rakennusten alta ryömintätilasta ja maanvaraisen laatan alla, sekä rakennuksen ulkopuolella sokkelin vierestä ja noin 1,2 m etäisyydeltä sokkelista.

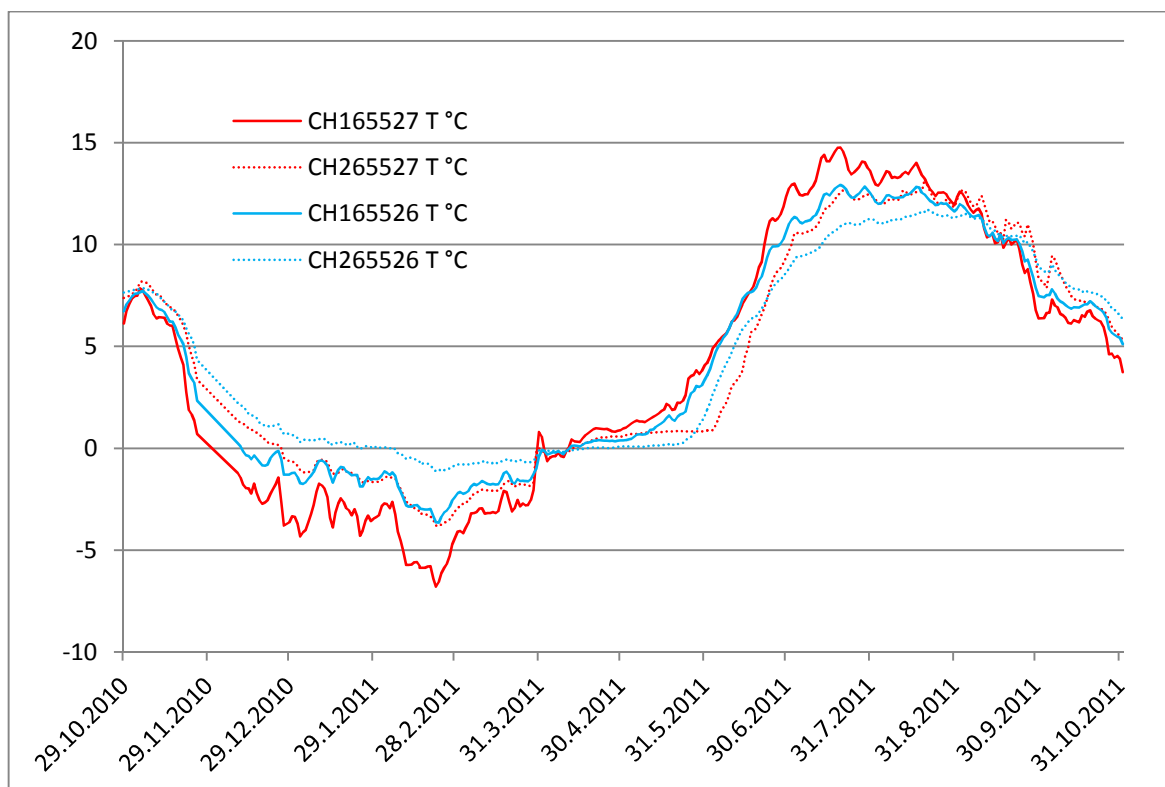
Mahdollinen routiintumisriski on huomioitu tutkimuskohteessa perustustavan valinnalla. Rakennus on paaluperustettu routiintumattomaan syvyyteen.

##### 3.1.2 Mittaustulokset

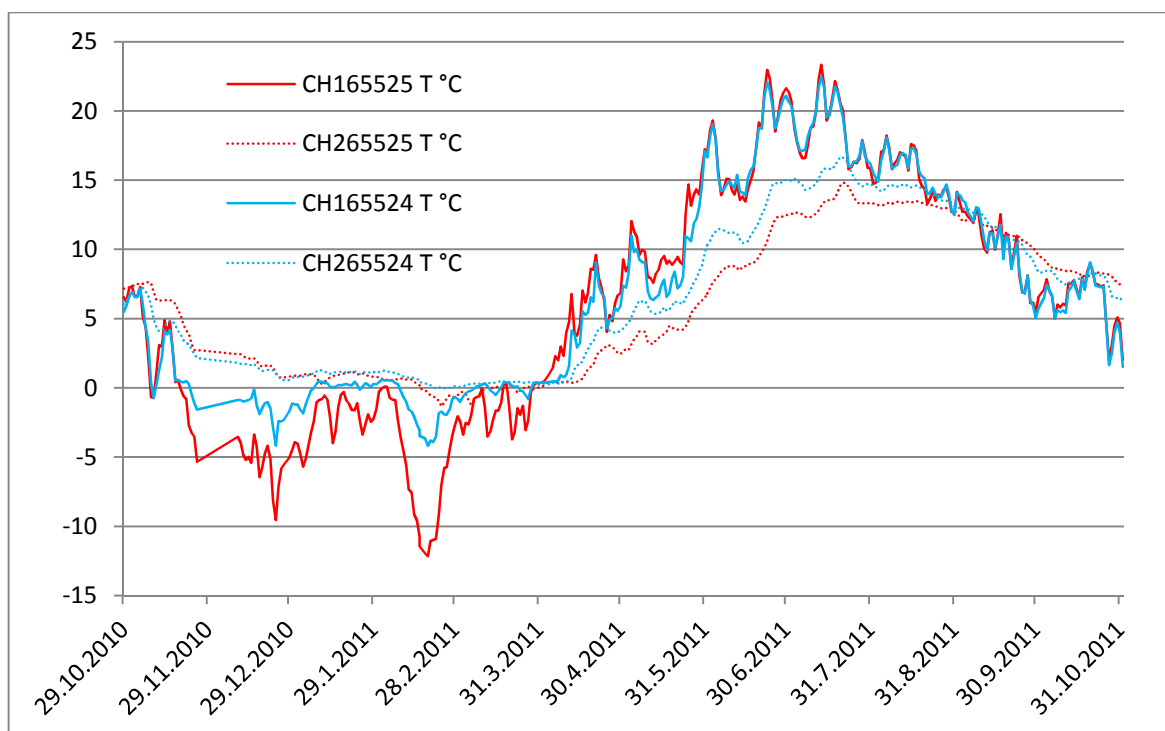
Alla olevissa taulukoissa esitetään lämpötilakäyrät mittauspisteistä talon A ja B alla ja ulkopuolella. Mittauspisteet B-talossa ovat vastaavilla kohdin A-talon kanssa siten että 65529 vastaa 65535, 65528 vastaa 65534 ja niin edelleen laskevassa järjestyksessä. Jokaisessa mittauspisteessä mitataan maaperän lämpötilaa kahdesta eri syvyydestä, kanavassa 1 oleva anturi on noin 10 cm syvyydellä maanpinnasta ja kanavassa 2 noin 50 cm syvyydellä. Kuvaajissa kanava 1 on merkitty yhtenäisellä viivalla ja kanava 2 pisteviivalla. Saman mittauskohdan kuvaajat ovat samalla värillä. Kuviot ovat järjestyksessä talon A keskeltä ulospäin siten, että viimeisessä kuviossa on mittaukset sokkelin ulkopuolelta (mittauspisteet 65525 ja 65524). Ensin esitellään talon A tulokset ja sitten vertailutalon B. Viimeisessä kuviossa on mukana myös ulkoilman lämpötila.



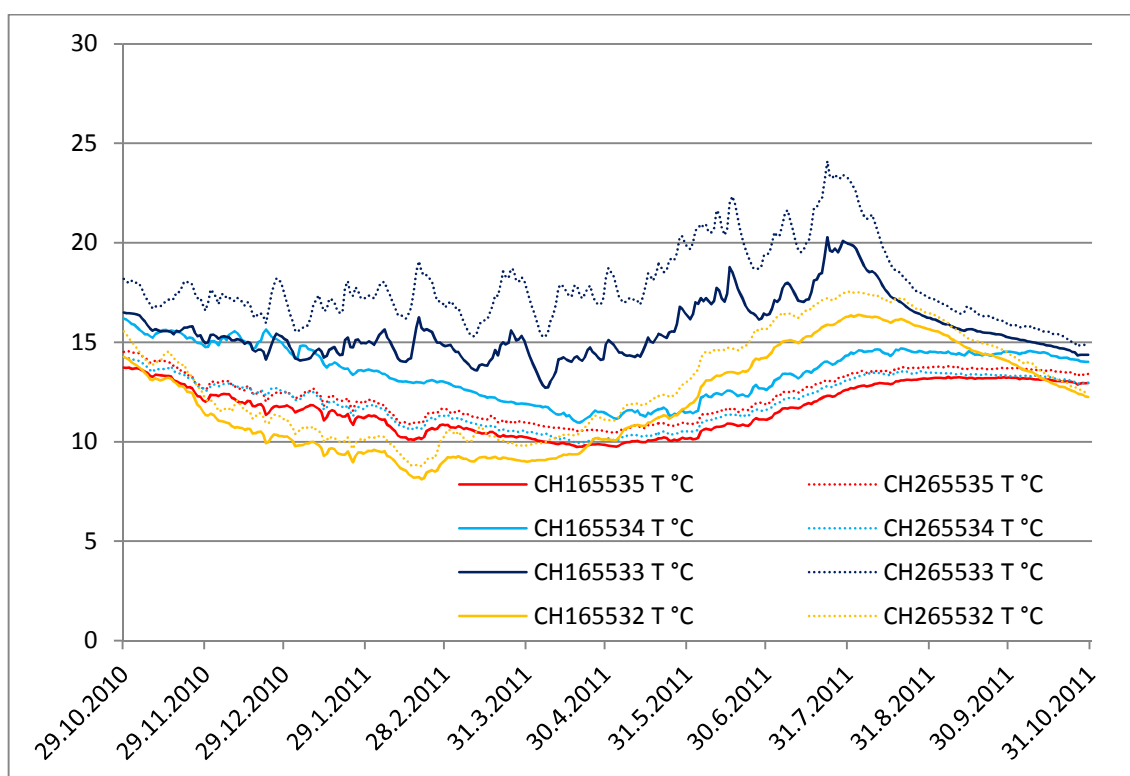
Kuvio 1. Mittauspisteet 65529 ja 65528



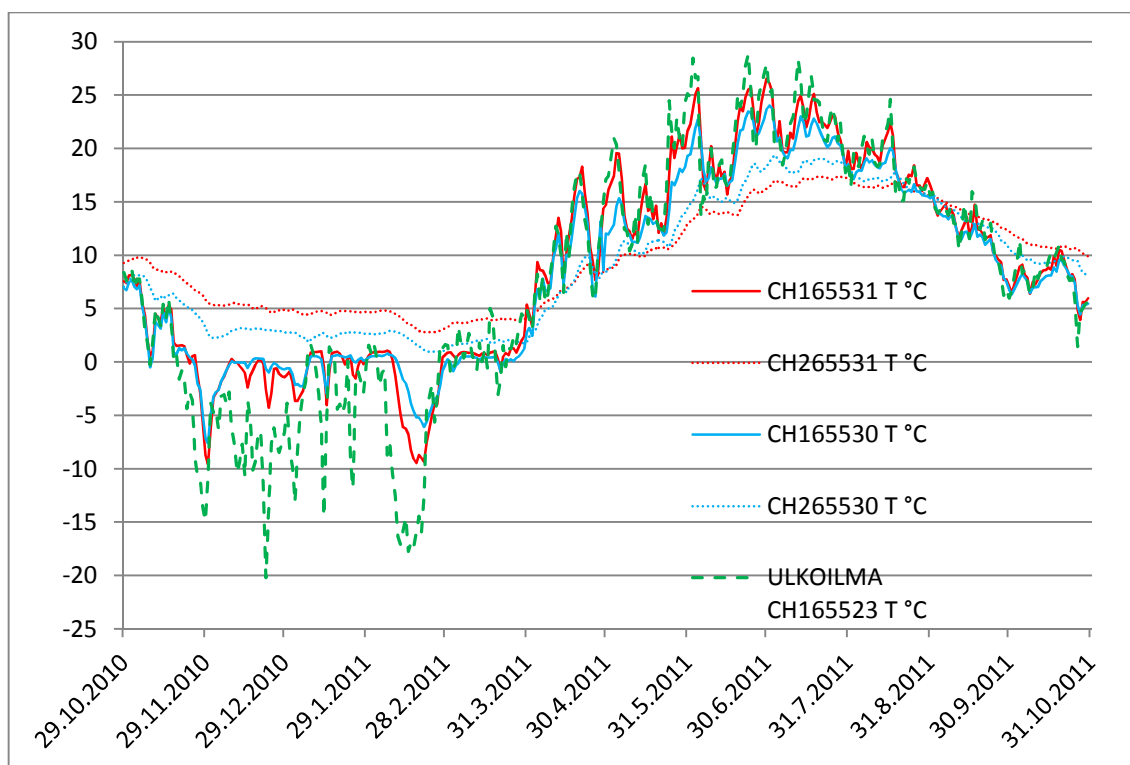
Kuvio 2. Mittauspisteet 65527 ja 65526



Kuvio 3. Mittauspisteet 65525 ja 65524



Kuvio 4. Talon B alapuolella olevat mittauspisteet



Kuvio 5. Talon B ulkopuoli ja ulkoilma

Käyristä huomataan, että maan lämpötila rossissa on talvella 2010 ollut pitkiä aikoja alle 0 °C. Syynä tähän on todennäköisesti tavanomaista kylmempi talvi ja perusmuurin eristämättömyys pakkaskauden alussa sekä maaperästä hyödynnettävä lämpö. Maaperä on ollut kauden aikana kylmimmillään juuri vesilämpöpumpun höyrystinyksikön alapuolella ja välittömässä läheisyydessä ja lämpötiloissa on havaittavissa nousua, kun lähestytään perusmuuria ja siirrytään ulkopuolelle. Maaperä myös lämpenee hitaimmin juuri höyrystinyksikön kohdalla. Tutkimuksessa täytyy huomioida, että höyrystinyksiköstä tiivistyvä vesi valui koko talven ryömintätilan pohjalle jäätyen suurehkoksi jääpinnaksi. Jään sulaminen on osaltaan hidastanut maaperän lämpenemistä.

Ulkopuolella maan pintalämpötila 10 cm syvyydessä seuraa ulkoilman lämpötilaa rossitilan mittauksia tarkemmin, mutta 50 cm syvyydessä maaperä on lämpimämpi käyden vain ajoittain pakkasen puolella. Tähän on syynä lumen eristävä vaikutus. Sekä talon A että talon B ulkopuolella maaperän lämpötila seuraa etenkin maan pintakerroksissa kohtuullisen tarkasti ulkoilman lämpötilaa. Vai-

telu talojen välillä sokkelin ulkopuolella selittyy lumipeitteen paksuuden eroilla. Talon B osalta antureiden kohdalla on kulkuväylä ja lumikerros pienempi.

Talon B maanvaraisen laatan alapuolella lämpötilat ovat huomattavasti korkeampia ja lämpötilavaihtelut maltillisempia. Lähempänä perusmuuria olevissa mittauksissa vaihtelu on suurempaa ulkoilman vaikutuksen vuoksi. Anturin 65533 mittaustulokset eroavat muista. Tähän ei tutkimuksen aikana löydetty syytä, mutta selityksenä voi olla esimerkiksi viemärin välitön läheisyys. Tällä ei kuitenkaan ole merkitystä tutkimuksen kannalta.

Maanperän lämpötilan laskun perusteella etenkin höyrystinyksikön läheisyydessä voidaan olettaa, että maaperään varautunutta lämpöä hyödynnetään vesilämpöpumpun avulla rossin ilmatilasta ainakin jossain määrin. Viilenevän alueen koko on kuitenkin huomattavasti ryömintätilan pohjapinta-alaa pienempi, joten projektin teoriassa esitetty lämmön siirtyminen ei ainakaan kokonaisuudessa toteudu. Lämmön noususyvyyttä tai maaperästä saatavaa lämpömäärää ei näillä mittauksilla voida mitata tarkasti. Maaperän jäätyminen rossipohjassa tulee huomioida, kun järjestelmää käytetään. Jäätyminen tapahtuu kuitenkin melko pienellä alueella eikä mittausten perusteella ulotu kovinkaan syvälle. Jäätymisellä ei pitäisi olla kovinkaan suurta vaikutusta nykyisten määräysten mukaan perustetun rakennuksen routasuojaukseen, ainoastaan poikkeuksellisen kylminä talvina voi olla tarpeen rajoittaa järjestelmän käyttöä.

### 3.2 Kosteusmittaukset

#### 3.2.1 Ryömintätilan ilmankosteus ja lämpötila

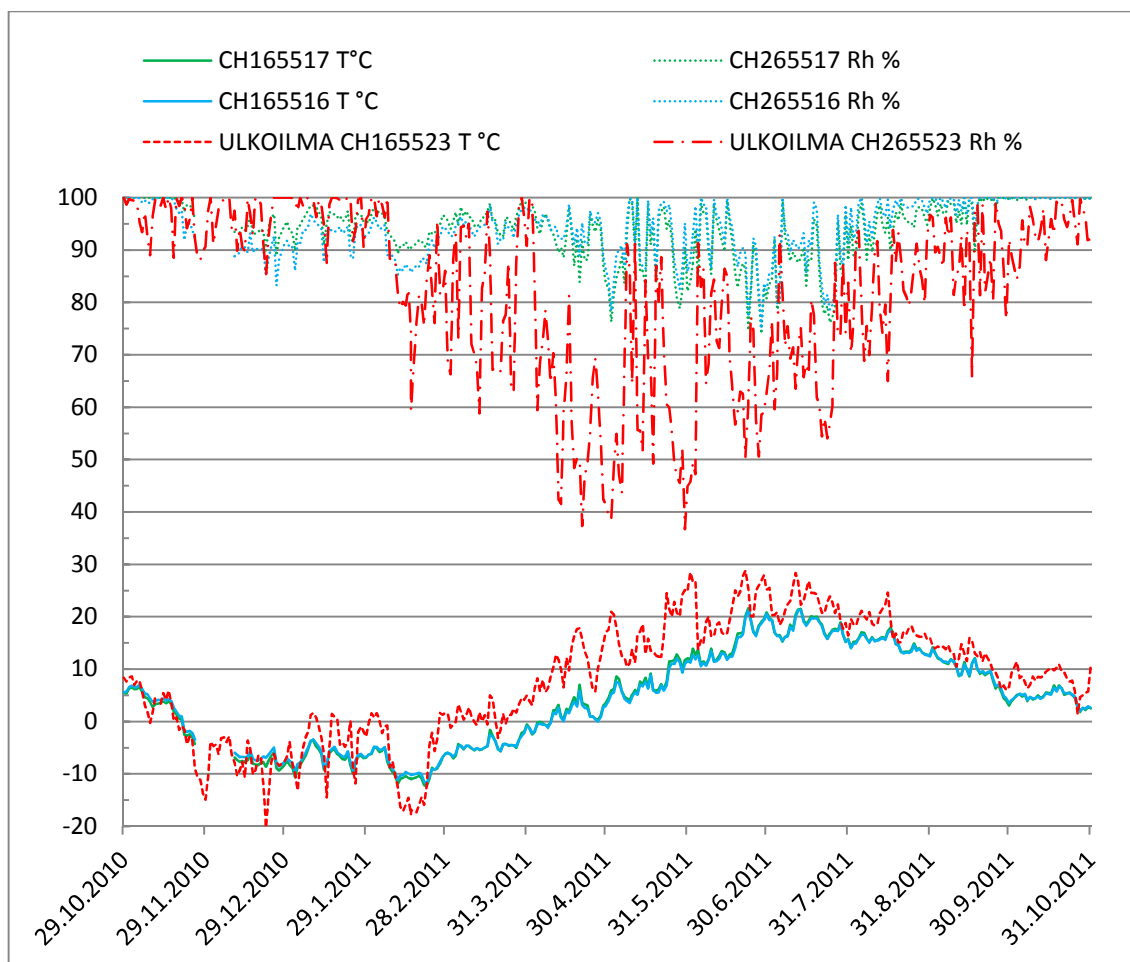
##### 3.2.1.1 Mittausten tarkoitus

Ryömintätilan ilmankosteuden ja lämpötilan mittauksilla on tarkoitus seurata rossin kosteusteknisiä ominaisuuksia ja toimintaa. Enro -projektin teoriassa oletetaan, että höyrystinyksikkö tiivistää ilmasta kosteutta ja näin osaltaan auttaa kuivattamaan rossin ilmatilaa. Samalla saadaan hyödynnettyä vesihöyryn tiivistymisestä vapautuvaa energiaa. Mittauksia suoritettiin ryömintätilassa neljästä

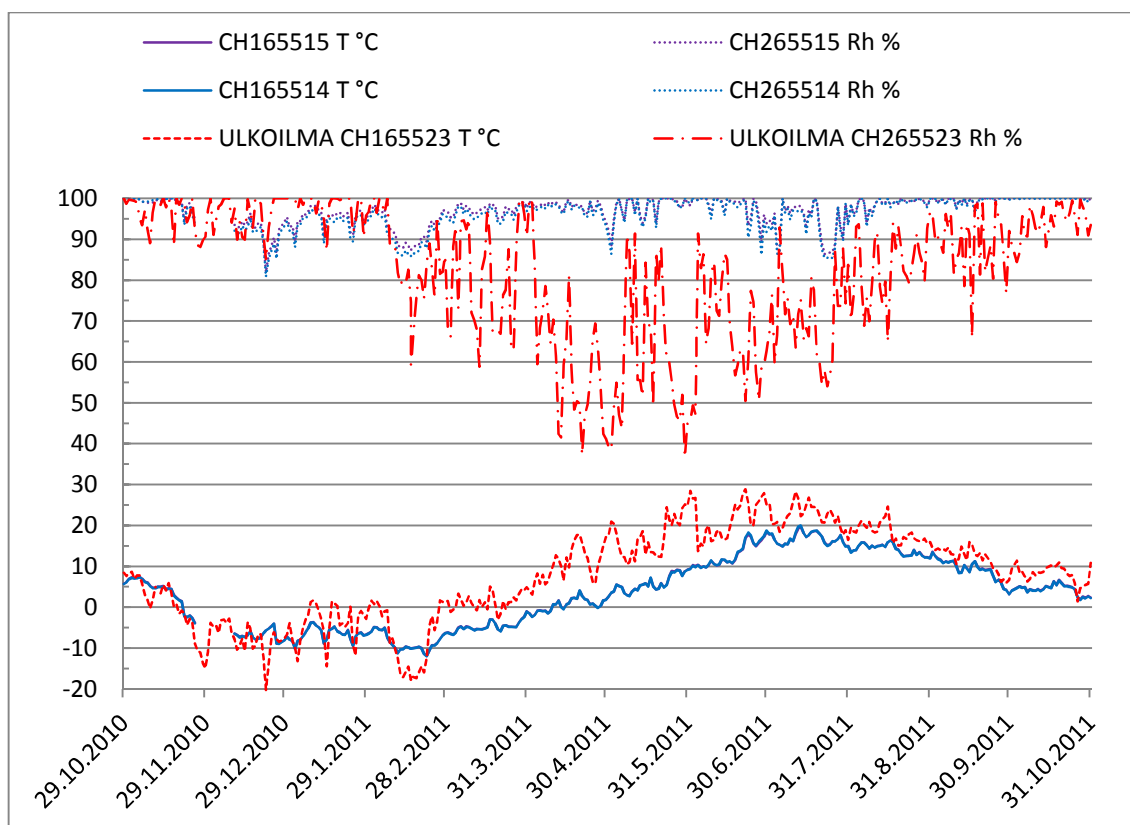
mittauspisteestä noin metrin korkeudelta ryömintätilan pohjasta. Mittauspisteistä saadaan kanavasta 1 lämpötila ja kanavasta 2 suhteellinen kosteus.

### 3.2.1.2 Mittaustulokset

Alla oleviin kuvioihin on koottu mittaustulokset ja vertailuna ulkoilman lämpötila on suhteellinen kosteus. Mittauspisteet näkyvät tarkemmin anturikartasta.



Kuvio 6. Ilman suhteellinen kosteus ja lämpötila ryömintätilassa, mittauspisteet 65517 ja 65516



Kuvio 7. Ilman suhteellinen kosteus ja lämpötila ryömintätilassa, mittauspisteet 65515 ja 65514

Kaikkien neljän mittauspisteen arvot ovat sekä lämpötilan, että suhteellisen kosteuden osalta erittäin lähellä toisiaan, eikä mainittavia eroja havaittu eri osissa ryömintätilaa.

Ilman lämpötila ryömintätilassa seuraa ulkoilman lämpötilaa hieman viiveellä, ollen kesällä selvästi ulkoilmaa kylmempää. Talvikaudella rossin ilmanlämpö seurasi aluksi täysin ulkoilman lämpötilaa, mutta kun perusmuurin eristys asennettiin kuvaajat erkanevat ja rossiin varautuneen lämpökapasiteetin vaikutus tasaa muutoksia lämpötilassa. Perinteinen rossipohja on normaalisti talvella ulkoilmaa lämpimämpi johtuen alapohjan lävitse tulevasta lämpövuodosta ja kesällä taas maaperän lämpökapasiteetin vuoksi kylmempi. Höyrystinyksikön sijoittaminen rossiin ja energian otto kylmentää mittausten mukaan ryömintätilaa talvikaudella ja hidastaa lämpenemistä keväällä ja kesällä. Ryömintätilan ilma on mittausten mukaan ollut alle 0 °C useita viikkoja sen jälkeen kun ulkoilma on jo noussut tämän yläpuolelle. Todennäköisesti eristeiden puute ja rossin jääh-



tyminen mittausten aluksi vaikuttaa kaikkiin mittauksiin ensimmäisen talven ajalta. Toisaalta syksyn 2011 aikana rossin ilmatila on kylmentynyt ulkoilmaa nopeammin ja tämän perusteella energian ottamisella on suuri vaikutus.

Suhteellinen ilmankosteus ryömintätilassa on koko mittausjakson ajan ollut korkealla. 13.6. tehtyjen lisämittausten perusteella aloitettiin ryömintätilassa ja rakenteiden ilmatilassa tehostettu tuuletus. Tuuletuksen aloittaminen paransi tilannetta hieman, laskien ryömintätilan suhteellista kosteutta ajoittain alle 80 %. Tästä huolimatta ilmankosteus on lähes jatkuvasti yli 80 % ja 90 - 100 % kosteuskukemia on pahimmillaan useita viikkoja perättäin. Korkea suhteellinen kosteus ei ole ongelma talvikaudella ilman lämpötilan ollessa pakkasen puolella, mutta kesäkaudella mitatut arvot viittaavat suureen riskiin mikrobikasvustoista kuten homeesta. Homeen kasvun vaatimat tärkeimmät tekijät ovat kosteus, lämpötila ja ravinteet. Ravinteet ovat harvoin rajoittava tekijä, sillä homeita voi kasvaa esimerkiksi eloperäisessä pölyssä. Lämpötilan osalta lukuisat homeet kasvavat 5 - 35 °C lämpötilassa, optimaalisen lämpötilan ollessa välillä 20 - 25 °C. Homekasvun käynnistymisen osalta rajana pidetään 75 - 80 % suhteellista kosteutta (Airaksinen 2007, 31) Tutkimuskohteessa on lähes koko lämpimän kauden ajan olosuhteet, jotka mahdollistavat homesienten kasvun. Rakenteissa on eristetty puurakenteet ryömintätilasta galvanoidulla peltilevyllä ja polyuretaaniliimauksin ja voidaan olettaa, ettei ryömintätilassa oleva kosteus tässä tapauksessa vaaranna rakenteiden kestoa tai sisäilman laatua. Ei kuitenkaan pystytä täysin sulkemaan pois mahdollisuutta, että ryömintätilan olosuhteet voivat pidemmällä aikavälillä aiheuttaa ongelmia rakenteiden keston ja sisäilman laadun suhteen.

### 3.2.2 Alapohjan rakenteiden ja ilmakehän kosteustilanne

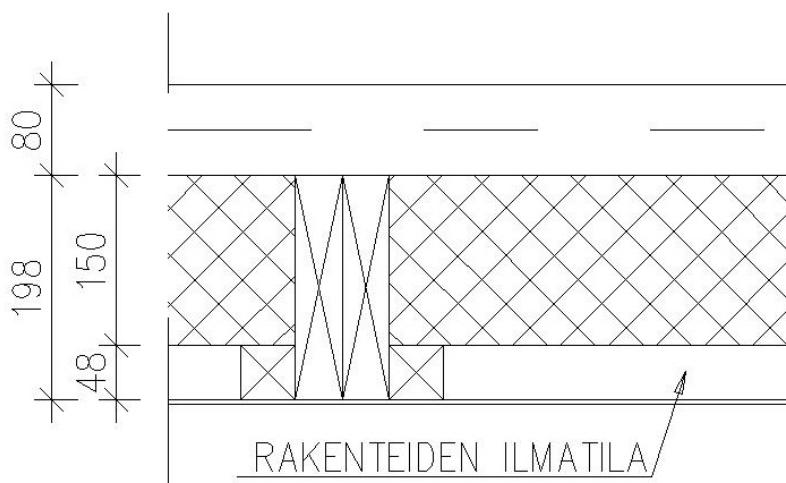
#### 3.2.2.1 Mittausten tarkoitus

Rakenteiden ilmakehän ilmankosteuden ja lämpötilan sekä alapohjapalkiston rakennekosteuden mittauksilla on tarkoitus seurata rossin kosteusteknisiä ominaisuuksia ja toimintaa. Mittauksia suoritettiin ilmakehässä neljästä mittauspisteestä. Mittauspisteistä saadaan kanavasta 1 lämpötila ja kanavasta 2 suh-

teellinen kosteus. Palkiston kosteutta mitattiin neljästä kohdasta piikkiantureilla. Piikkiantureiden toimintaongelmien vuoksi mittauksia on suoritettu kahteen otteeseen myös toisella mittauslaitteistolla.

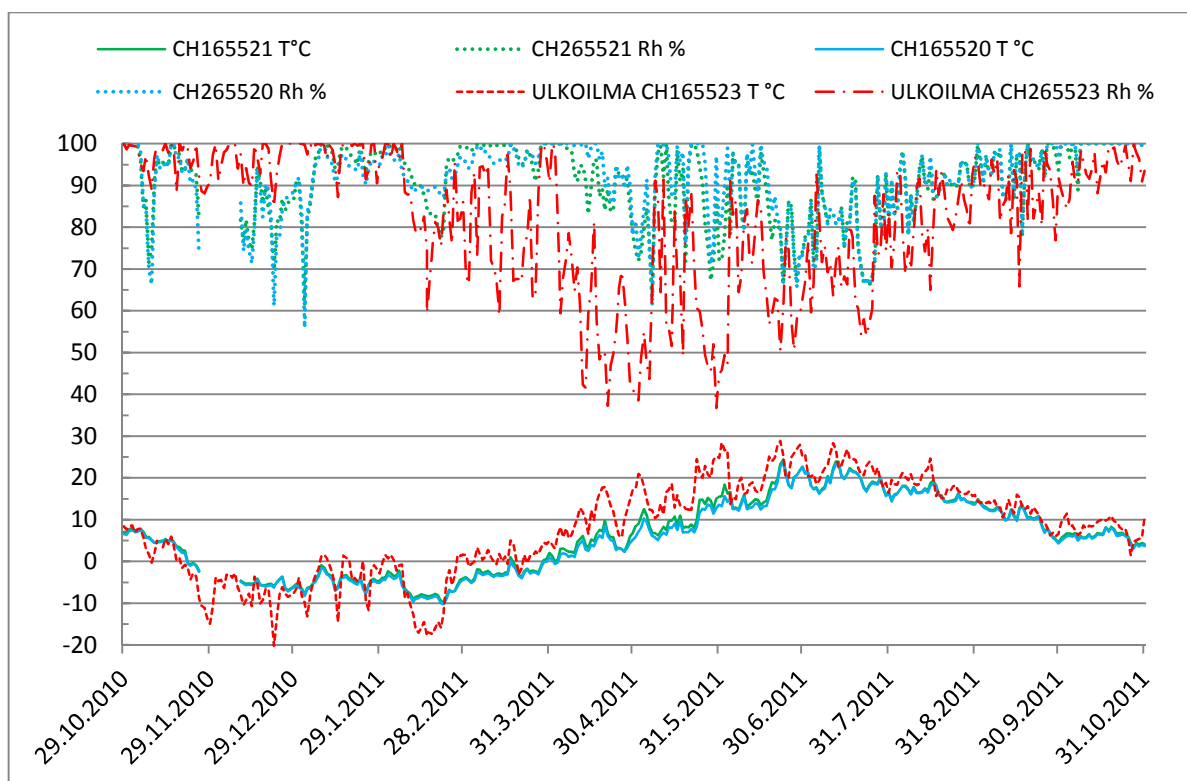
### 3.2.2.2 Ilmankosteuden ja lämpötilan mittaustulokset

Alla on alapohjarakenteen leikkauskuva 28.4.2009 päivätyistä rakennekuvista. Alapohjan on tehty lattiaelementeistä (paksuus 198 mm), joiden päällä on 80 mm betonilaatta. Elementissä on eristeenä 150 mm SPU eristettä, eristeen alapuolinen ilmatila on 48 mm ja ryömintätilaa vasten on galvanoitu pelti, jonka saumat on liimattu polyuretaaniliimalla.

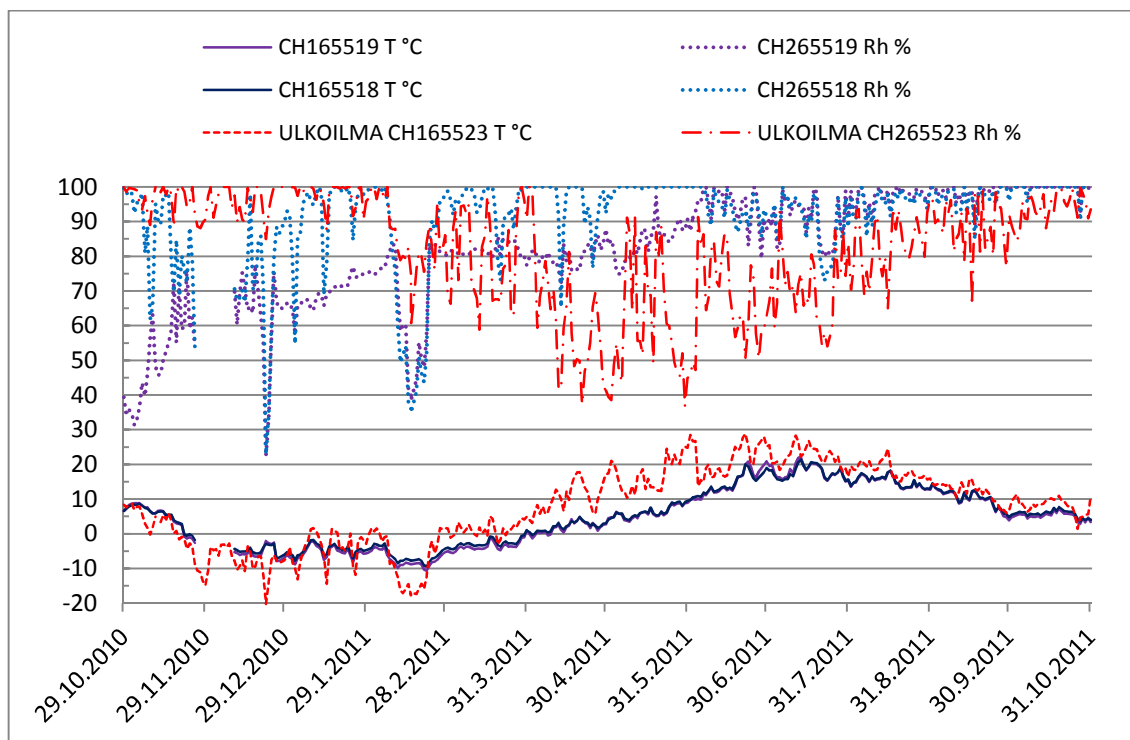


Kuvio 8. Alapohjarakenne

Alla oleviin kuvioihin on koottu mittaustulokset lämpötilasta ja ilman suhteellisesta kosteudesta. Vertailuarvona kuvioissa on mukana ulkoilman lämpötila ja suhteellinen kosteus. Mittauspisteet näkyvät tarkemmin anturikartasta. Selvytyksen vuoksi mittaustulokset on jaettu kahteen kuvioon.



Kuvio 9. Mittauspisteet 65521 ja 65520



Kuvio 10. Mittauspisteet 65519 ja 65518

Lämpötilat mittauspisteissä käyttäytyvät pääosin ryömintätilan ilman lämpötilojen tavoin. Alapohjan lävitse tuleva lämpövuoto on paksun eristemäärän vuoksi vähäistä eikä se lämmitä rakenteiden ilmakehää merkittävästi. Lämpötilat seurailevat ulkoilman lämpötilaa pienellä viiveellä ja tasaten suurimpia piikkejä.

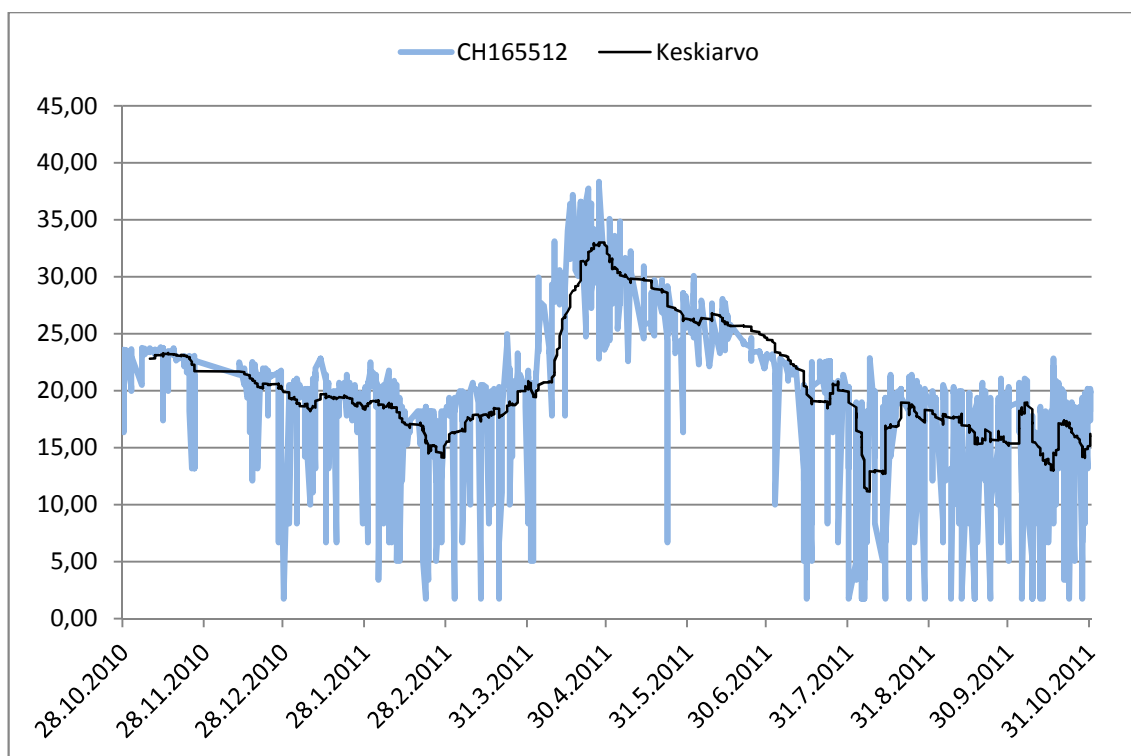
Suhteellinen kosteus on myös rakenteiden välisessä ilmatilassa korkealla. Mittausjakson aluksi osassa mittauspisteistä ollut ilma on ollut kuivaa, mutta jakson aikana kaikissa mittauspisteissä suhteellinen kosteus on noussut välille 90 - 100 % ollen osassa mittauspisteistä melko pitkiä aikoja jopa 100 %. Ilmakehän koneellinen tuuletus aloitettiin 13.6. ja tämä näkyy kosteuskäyrissä selkeänä kuivumisena etenkin mittauspisteissä 65521 ja 65520. Tuuletuksen avulla ilmakehän kosteus seuraa ulkoilman kosteutta melko tarkasti ja hetkittäin suhteellinen kosteus oli alle 70 %. Tuuletus vaikuttaa tehokkaimmin lähempänä ilmanottoa oleviin mittauspisteisiin ja tästä voidaan päätellä, ettei ilmankierto ole tasainen rakenteiden ilmakehässä. Tuuletus lopetettiin 11.10. jonka jälkeen ilmatilan kosteusarvot palasivat korkealle tasolle. Korkeisiin suhteellisen kosteuden lukemiin tuuletuksen lopettamisen jälkeen vaikuttaa myös ilman lämpötilan lasku syksyn aikana. Kanavaan jäänyt kosteusmäärä ei pysty sitoutumaan ilmaan lämpötilan laskiessa ja tiivistyy alapuolella olevan pellin pintaan sen ollessa muita rakenteita kylmempi. 7.11. tehtiin kohteelle tarkastuskäynti, jonka yhteydessä avattiin alapohjan pellityksiä kahdesta kohtaa. Raportti käynnistä on liitteenä. Tutkimuksessa havaittiin toisessa mittauspisteessä pellin pintaan tiivistynyttä vettä. Pellin päällä oleva vesi imeytyy puumateriaaliin ja ylläpitää ilmakehän kosteuden kyllästymistilaa.

Rakennusaikana rakenteiden tiedetään olleen useita viikkoja alttiina sateelle. Rakenteiden ilmatilassa oleva kosteus on osittain peräisin tästä rakennusaikaisesta kosteudesta ja osittain ulkoilman kosteudesta. Ryömintätilan ja rakenteiden ilmatilan välissä on ilma- ja höyrysulkuna toimiva teräslevy ja voidaan olettaa, ettei kosteus ole peräisin rossista ainakaan merkittävässä määrin. Energianotto ryömintätilasta kuitenkin jäähdyttää välillisesti myös ilmakehää ja tämä nostaa ilman suhteellista kosteutta kyseisessä tilassa. Mittausten perusteella lämpötila rakenteiden ilmakehässä on lähes sama kuin ryömintätilassa.

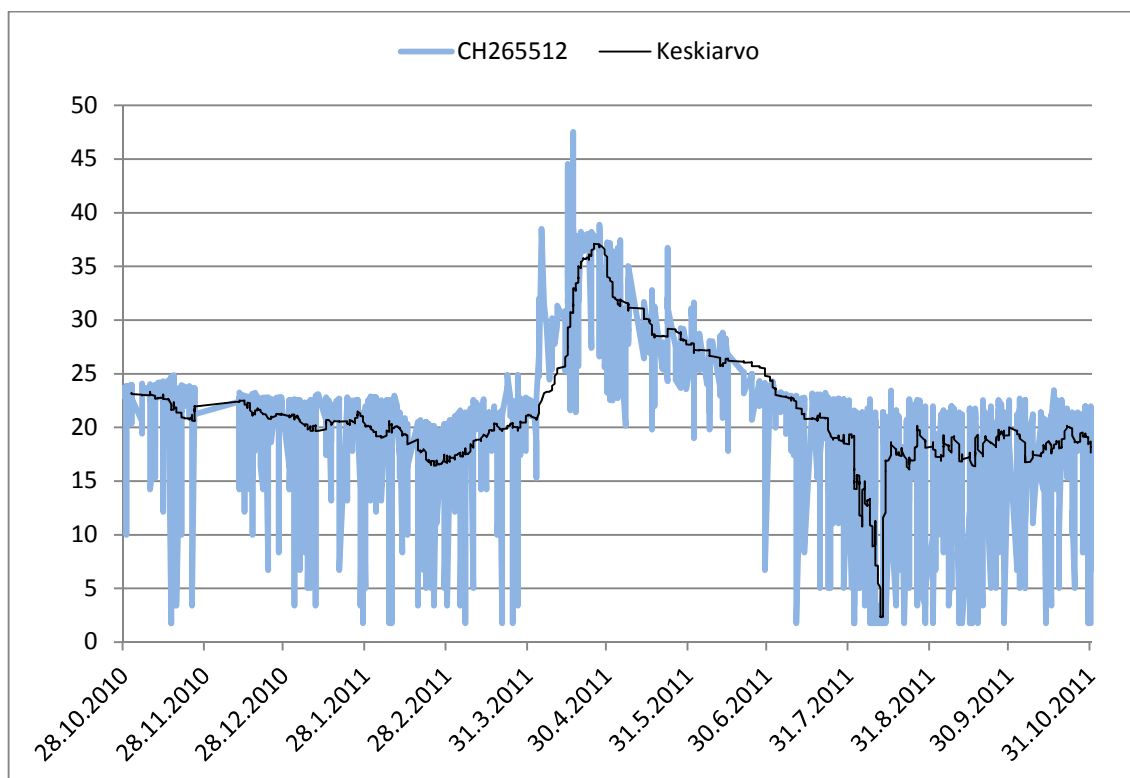
Ilmakanavassa olevat suojaamattomat puurakenteet ovat suorassa kosketuksessa ulkoilmaan. Olosuhteet ovat otolliset mikrobikasvustolle ja on mahdollista, että joissain olosuhteissa tästä aiheutuu sisäilmaongelmia, sillä alapohjan betonilaatan reunoilta voi tapahtua ilmavirtausta sisäilmaan. Rakenteiden tuuletusjärjestelyä parannetaan tulevaisuudessa, jotta mikrobikasvuston riski saadaan poistettua. Lisäksi on selvitettävä mahdollisia ratkaisuja, jolla estetään ryömintätilan viilentävä vaikutus tuuletuskanavassa. Tuuletuksen parannusten yhteydessä tulee varmistaa ilmanvirtaus koko alapohjapalkiston alueella, jotta rakenteet saadaan kuivatettua kauttaaltaan.

### 3.2.2.3 Puupalkiston kosteusmittaukset

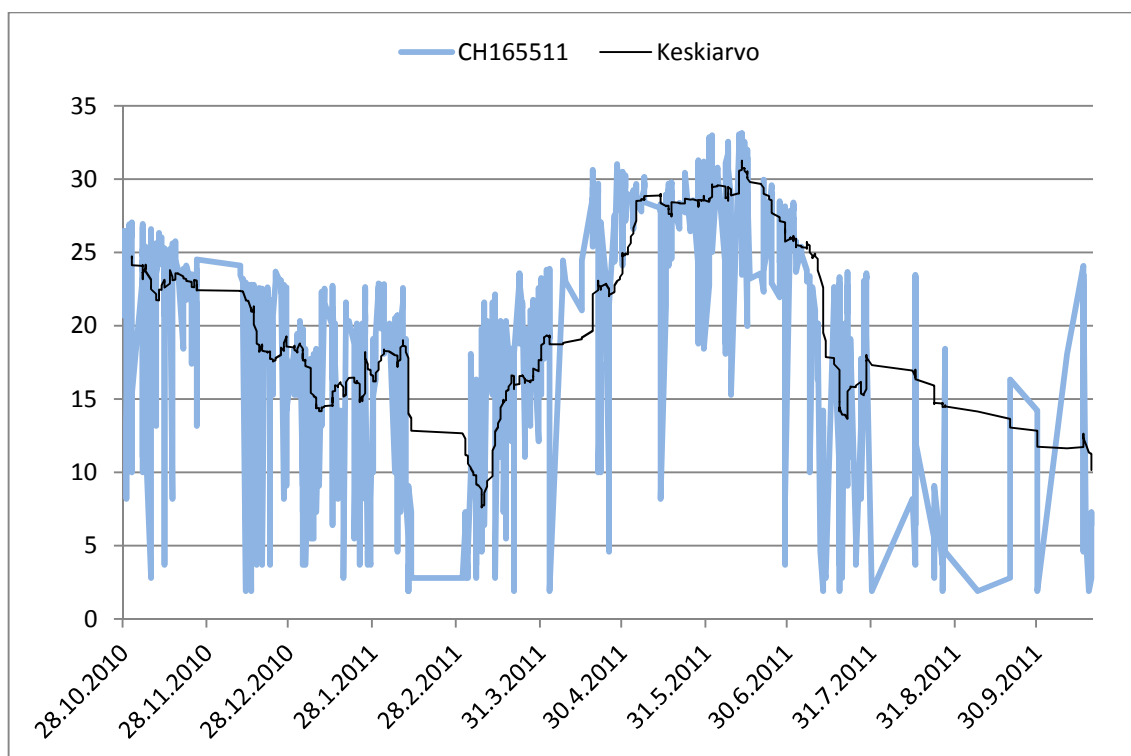
Alapohjan kannatinpalkiston rakennekosteuden mittauksissa on koko mittausjakson aikana ollut ongelmia, joiden syytä ei ole saatu tarkemmin selvitettyä. Kertyneestä datasta on suodatettu pois anturin antamat virheilmoitukset ja mitaustuloksista on haettu pidemmän aikavälin keskiarvoja, jotta virheiden vaikutus saataisiin minimoitua. Lisäksi kohteella on suoritettu 13.6. ja 7.11. tarkastusmittauksia. Mahdollinen syy ongelmiin voi olla puurakenteessa kiinni oleva galvanoitu pelti ja ilmatilan ja puupalkiston korkeat kosteuslukemat ja ajoittainen tiivistynyt vesi pellin päällä. Nämä tekijät ovat voineet häiritä mittauksia. Alla olevissa kuvioissa on yhteenveto mittauksista. Kuvioihin on koottu mittausdata, josta virheilmoitukset on poistettu. Lisäksi dataan on lisätty paikallisten tulosten keskiarvoa kuvaava käyrä. Lukemat ovat suuntaa antavia painoprosentteja puun kuivapainosta.



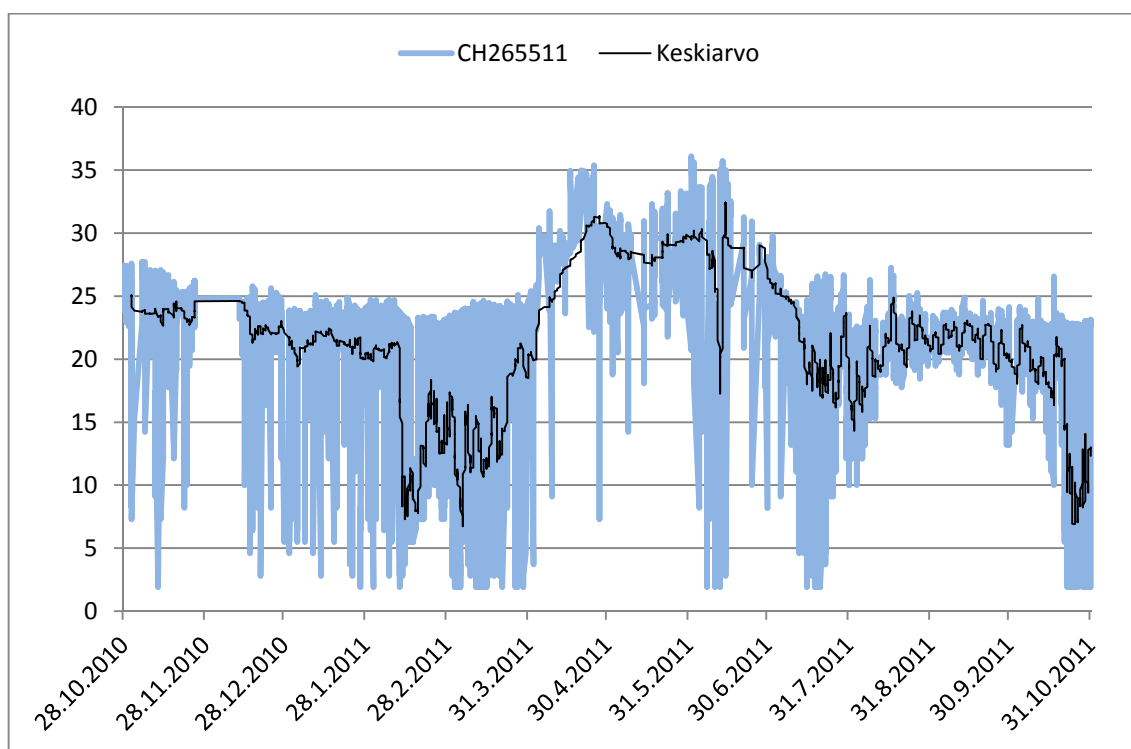
Kuvio 11. Alapohjapalkiston kosteuksia paino-%, mittauspiste CH165512



Kuvio 12. Alapohjapalkiston kosteuksia paino-%, mittauspiste CH265512



Kuvio 13. Alapohjapalkiston kosteuksia paino-%, mittauspiste CH165511



Kuvio 14. Alapohjapalkiston kosteuksia paino-% mittauspiste CH265511

Alapohjapalkiston kosteuskäyrät ovat mittausongelmien vuoksi vain viitteellisiä, eikä lukemia voi sellaisenaan käyttää. Etenkin mittalaitteen 65511 molempien kanavien mittaustuloksissa on paljon äkillistä vaihtelua, mikä ei ole mahdollista, kun kyseessä on puurakenne. Mittauksien mukaan alapohjan palkistossa on kuitenkin melko korkeita kosteuslukemia mittausjaksolla ja kaikissa mittauspisteissä näkyy korkeammat kosteuspitoisuudet loppukevään ja kesäkuukausien aikana. Tarkempaa analyysia tuloksista ei voi luotettavasti tehdä, mutta käyrät kuvaavat kosteuskäyttäytymistä ja ovat pääosin linjassa muiden kosteusmittausten kanssa. 13.6. ja 7.11. tehdyt tarkastusmittaukset tukevat tuloksia. Koneellisen tuuletuksen vaikutus näkyy seurantajakson aikana kesän loppua kohden laskevana kosteuspitoisuutena. Rakennekosteus on kuitenkin edelleen korkealla ja rakenteiden ilmatilan kosteuden ollessa korkea ei rakenne pääse kuivumaan. Alapohjapalkkien yläosat ovat lähellä rakennuksen vaipan lämmintä puolta ja ne ovat aina suhteellisen lämpimässä. Lahottajasienet alkavat kasvaa kun puurakenteen kosteus on 25 - 30 % ja lämpötila yli 0 °C (Siikanen 2001, 24). Tutkimuskohteessa alapohjapalkiston yläosassa on mikrobitoiminnalle suotuisa lämpötila ympäri vuoden ja mittausten perusteella riittävä kosteus kesäkaudella pitkiäkin aikoja. Tulosten perusteella alapohjapalkistossa on riski homeen ja lahon kasvuille ja rakenteiden tuuletukseen on kiinnitettävä erityistä huomiota. Kohteella 7.11. tehtyjen tarkastusmittausten yhteydessä otettiin kahdesta palkista sivelynäytteet, jotka lähetettiin tutkittavaksi Eurofins Scientific Finland Oy:lle Tampereelle. Tutkimustodistus ja Rakennuslaboratorion RI Jarno Oravasaaren huomiot analyysista on liitteenä. Analyysin mukaan näytteessä T1 on erittäin runsaat homeitiöpitoisuudet. Näytteessä T2 havaittiin itiöitä pitoisuuden ollessa huomattavasti pienempi. Tulokset viittaavat kosteusvaurioihin rakenteissa.

Alapohjapalkiston kosteustilanne ja kosteusvaurioihin viittaavat mikrobikasvut vaativat välittömiä toimenpiteitä kosteustilanteen alentamiseksi.

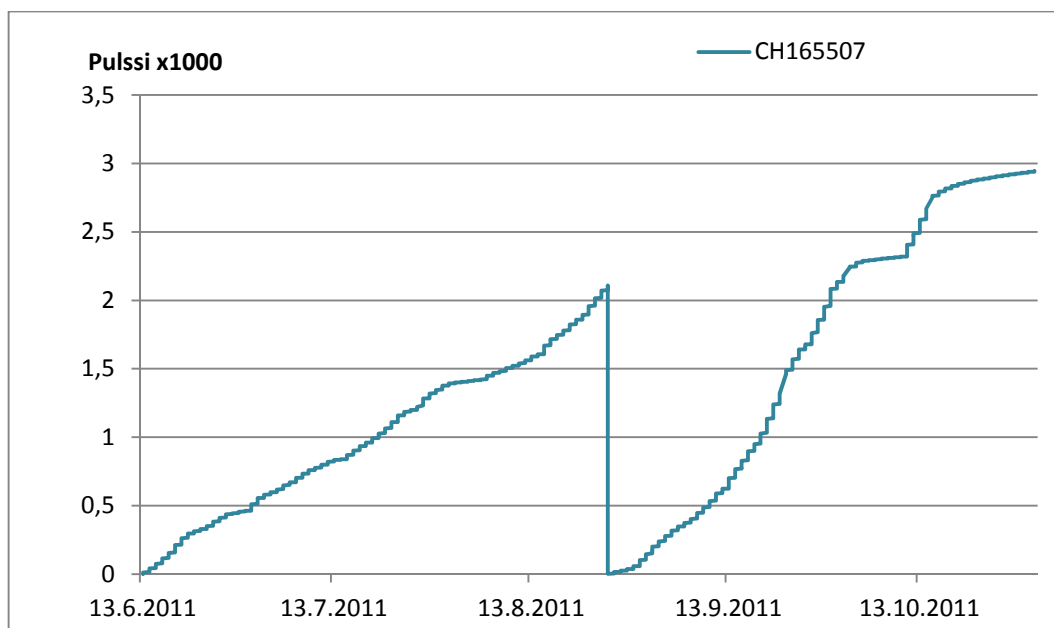


### 3.3 Höyrystimeen tiivistyvää vesimäärä

Höyrystimeen tiivistyvää vesimäärää mitattiin 13.6. alkaen pulssilaskurilla, jossa yksittäinen pulssi tarkoittaa 8 mm tiivistyvää vesimäärää. Vesimäärämittarin tukkeutumisen vuoksi lukemat ovat paikoin liian alhaisia. Mittauksissa huomioidaan vain jaksot, jolloin mittaus on toiminut ongelmitta. Mittarin tukkeutumisesta huolimatta vesimäärästä saadaan riittävän hyvä käsitys, jotta mittausten perusteella voidaan arvioida tiivistyvää vesimäärää vuositasolla. Rakennuksessa on molemmille asunnoille oma vesi-ilmalämpöpumppu, eli rossissa on kaksi höyrystinyksikköä. Mittaukset on suoritettu yhdestä yksiköstä ja tulokset voidaan yleistää kahdelle yksikölle kertomalla vesimäärä kahdella. Kertyneestä datasta on laskettu tiivistynyt vesimäärä viikkoa kohden aikavälillä 13.6. - 2.10.2011. Tulokset esitetään alla olevassa taulukossa ja tiivistymisnopeutta kuvaavassa kuviossa.

Taulukko 1. Höyrystimeen tiivistyvää vesimäärä

Viikko	Kertynyt vesimäärä (l)
VK24	21
VK25	14
VK26	13
VK27	14
VK28	13
VK29	20
VK30	17
VK31	6
VK32	11
VK33	23
VK34	20
VK35	23
VK36	22
VK37	35
VK38	52
VK39	45
YHT	349



Kuvio 15. Vesihöyryn tiivistymisnopeus mittauspulsseina

Höyrystimeen tiivistyy runsaasti vettä, etenkin lämmitys kauden alkaessa seurantajakson loppupuolella. Koko jakson aikana on tiivistynyt n. 350 l vettä, eli keskimäärin 3 l vuorokaudessa. Määrä on tiivistynyt yhteen höyrystinyksikköön. Mittausjakso sijoittuu pääosin kesäkaudelle, joten vesimääräksi voidaan olettaa jopa 4 - 5 l vuorokaudessa koko vuoden ajalla. Mittauksen perusteella vuositasolla tiivistyvän veden määrä on arviolta ainakin 1500 - 1800 l höyrystinyksikköä kohden. Kuvaajasta voidaan lukea vesihöyryn tiivistymisnopeus käyrän jyrkkyydestä mittarin rekisteröimien pulssien avulla. Käyrässä olevat lähes vaakasuorat osuudet kertovat vesimäärämittarin tukkeutumisesta. Ryömintätilan ilmassa on pölyä joka ajan mittaan tukkii mittarin. Käyrästä kuitenkin nähdään lämmityskauden alkamisen vaikutus huomattavasti nopeampana tiivistymisenä ja vesimääränä.

Vesihöyryn tiivistymisestä vapautuu energiaa 2260 kJ/kg (normaali höyrystymislämpö). Vuorokaudessa vettä tiivistyy arviolta 4 l ja energiaa vapautuu keskimäärin 9040 kJ. Tästä saadaan jatkuvana lämpötehona keskimäärin

$$\frac{9040 \cdot 1000 \text{ J}}{24 \cdot 60 \cdot 60 \text{ s}} = 105 \text{ W}.$$

Vesihöyryn tiivistymisestä ryömintätilaan vapautuvaa energiaa käytetään vesilämpöpumpun avulla rakennuksen lämmittämiseen.

Edellisen talven aikana ryömintätilan maapohjan jäätyessä tiivistynyt vesi jäätyni laajaksi alueeksi höyrystinyksikön alle. Alla on kuva jääkerroksesta.



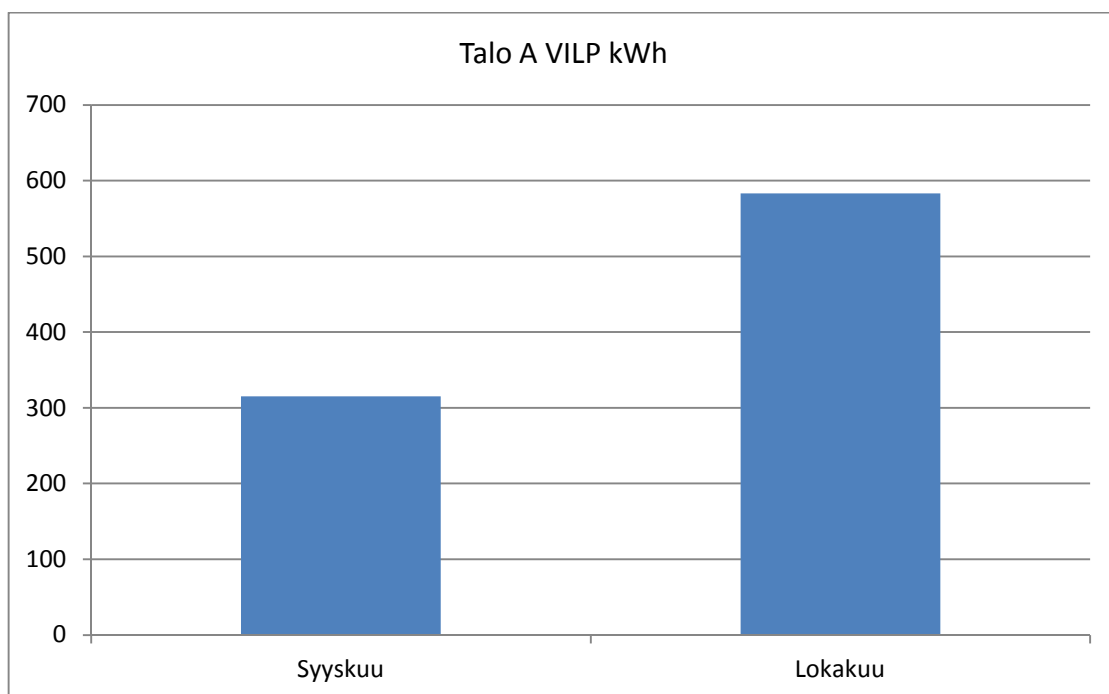
Kuvio 16. Jääkerros höyrystinyksikön alla

Myös jääkerroksen paksuudesta ja laajuudesta edellisen talven aikana voi päätellä höyrystimeen tiivistyvän runsaasti vettä.

Veden tiivistyminen ryömintätilassa vapauttaa energiaa, mutta samalla se aiheuttaa kosteusrasituksen ryömintätilaan. Vapaasta vedestä pyrkii höyrystymään ilmaan kosteutta niin kauan kunnes ilma on kyllästymistilassa, eli suhteellinen kosteus on 100 %. Tämän jälkeen höyrstyminen jatkuu ja samalla vesihöyryä tiivistyy takaisin vedeksi, siten että ilma pysyy kyllästymistilassa. Vesihöyryä syntyy myös suoraan jääpinnasta (sublimoituminen). Höyryn muodostuminen vapaasta vedestä on erittäin runsasta ja paras tapa sen ehkäisyyn on poistaa kosteuslähde. Tiivistymisvedet tulee johtaa pois ryömintätilasta, mieluiten sadevesiviemäriin.

### 3.4 Energiamittaukset

Energiamittauksista on saatavissa vasta alustavia tuloksia, sillä vasta syksyn 2011 aikana on alkanut kertyä dataa tilanteesta, jossa kaikissa asunnoissa on asukkaat ja lämmityskausi on käynnissä. Mittauksia on tehty talossa A vesi-ilmalämpöpumpun ja höyrystinyksikön sulatusvastuksen energiankäytöstä ja talossa B näiden lisäksi lämminvesivaraajan vastuksen energiankäytöstä. Ker-tyneestä mittausdatasta käy ilmi, että vertailutalon vesi-ilmalämpöpumpussa on ollut toimintakatkoksia ajoittain. Katkosten ajalta on dataa kertynyt vain varaajan osalta. Seuraavassa taulukossa on talon A vesi-ilmalämpöpumpun energian-käyttöä syys-lokakuulta.



Kuvio 17 Energiatarkasteluja

Talojen välistä energiankulutusta ei mittaustulosten perusteella voi vielä arvioi-da, vaan dataa tulee kerätä pidemmältä ajanjaksolta. Taulukosta nähdään kui-tenkin lämmityskauden alun vaikutus energiankäyttöön. Lokakuussa talon A vesi-ilmalämpöpumppu käytti lähes kaksi kertaa syyskuun energiamäärän. Su-latusvastusta ei tarvittu kyseisen ajanjakson aikana.

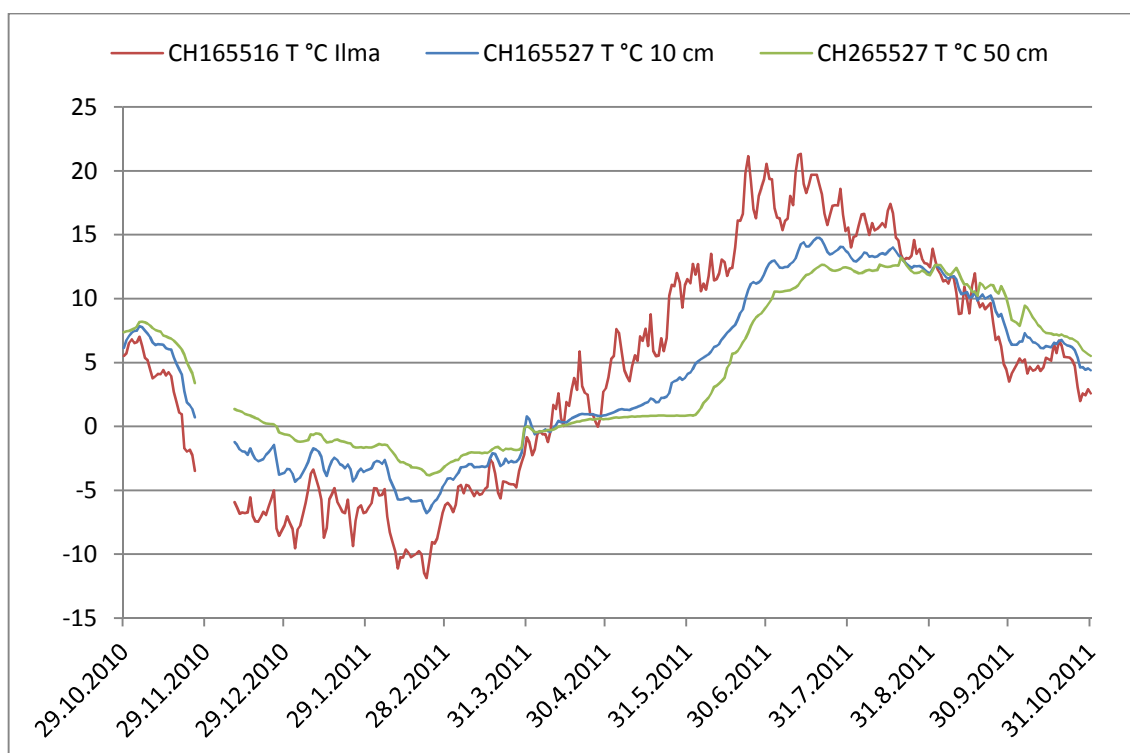
## 4 JOHTOPÄÄTÖKSIÄ

Tässä luvussa käydään lävitse mittaustuloksista tehtävät päätelmät ja pohditaan mahdollisia parannuksia tai korjauksia Enro -projektissa esiteltyyn lämmitysjärjestelmään.

### 4.1 Kosteustekninen toiminta

Enro -projektin lähtöoletuksiin kuului ajatus, jonka mukaan ryömintätilaan sijoitettu vesi-ilmalämpöpumpun höyrystinyksikkö toimisi samalla ryömintätilan ilman kuivaimena tiivistäessään runsaasti vettä. Mittaustulosten perusteella näin ei kuitenkaan ole, vaan rossitilan ilmankosteus säilyy jatkuvasti hyvin korkeana. Seuraavassa pohditaan syitä rossin korkeaan kosteustilanteeseen.

Kosteusrasitusta aiheuttaa jo aiemmin käsitelty tiivistymisvesien valuminen ryömintätilaan. Muita mahdollisia tekijöitä voi pohtia mittausdatan perusteella. Alla olevassa kuviossa on ryömintätilan ilman ja maaperän lämpötilakäyrät mitausjaksolta.



Kuvio 18. Ryömintätilan ilman ja maaperän lämpökäyrät

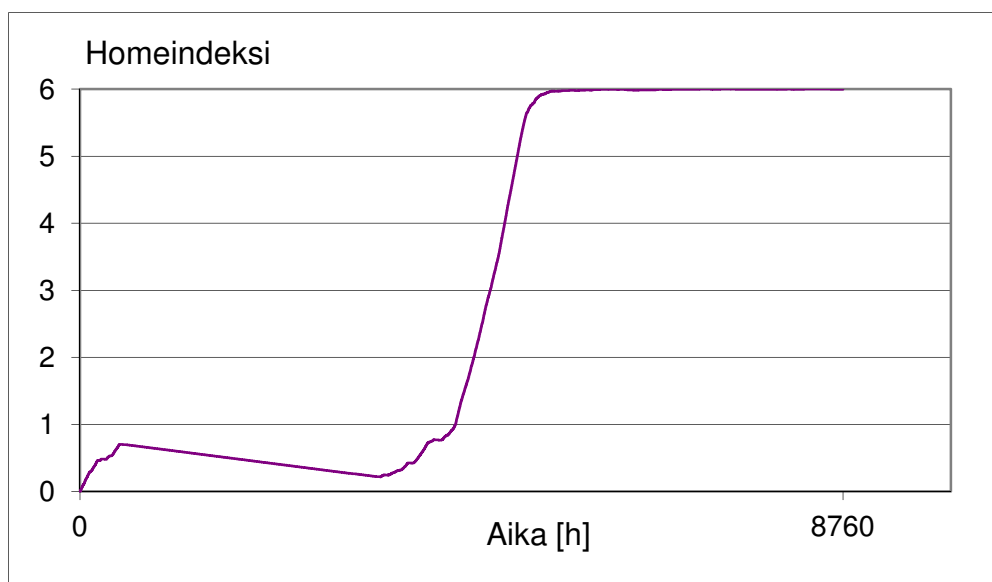
Mittausten perusteella ilman lämpötila rossissa on koko lämmityskauden kylmempi kuin maaperän lämpötila. Tähän on syynä ainakin osin energian otto rossista, toisena syynä on mittausjakson alussa tapahtunut jäähtyminen eristeiden puutteen vuoksi. Maaperän huokosissa olevan ilman suhteellisen kosteuden oletetaan olevan laskelmissa yleensä 100 %. Kun rossin ilman lämpötila on alhaisempi kuin maaperän, on maaperän huokosissa oleva vesihöyryn osapaine ryömintätilan ilmassa olevaa osapainetta suurempi ja vesihöyryä siirtyy ryömintätilaan. TM Rakennusmaailman numerossa 11/11 Tekniikan tohtori Jarek Kurnitski kommentoi Pekka Hietalan artikkelissa ”Ilmalämpöpumppu ryömintätilassa” vastaavia mittaustuloksia ja päätyy samaan ajatukseen maaperästä nousevasta kosteudesta.

Energian otto rossista viilentää ilmaa nostaen suhteellista kosteutta. Mittausten perusteella näyttää siltä, että kuivattava vaikutus ei ole riittävä verrattuna kosteuslähteiden tuottamaan kosteuslisään ja viilenevän ilman heikompaan kosteuskapasiteettiin. Korjaavana toimenpiteenä tiivistysvedet täytyy johtaa rossista esim. sadevesiviemäreihin. Tämä ei yksin riitä parantamaan rossin kosteustilannetta, vaan muita ratkaisuja on myös pohdittava. Mahdollinen korjaustapa on maaperän kosteustuoton katkaiseminen esimerkiksi sepelikerrokseen laitettavalla muovilla, mutta kyseisen ratkaisun toimivuus täytyy testata erikseen. Rossin maapohjan eristäminen kuivattaa tehokkaasti rossia (Airaksinen 2007, 35), mutta tässä tapauksessa sillä estetään maaperään varastoituneen energian käyttö eikä ratkaisu ole soveltuva.

Kosteus ryömintätilassa on perinteisessä rossipohjassa ajoittain korkealla, eikä sinänsä ole ongelmallista mikäli rakenteet kestävät kosteuden ja rakennuksen vaippa on riittävän tiivis. Pitkäaikainen kosteus aiheuttaa kuitenkin homeriskin kaikilla materiaaleilla. Ryömintätilan suuri kosteusmäärä on haitallinen erityisesti puualapohjille ja tästä syystä tulevaisuudessa on suositeltavaa käyttää paremmin kosteutta kestävää ja homeriskin osalta helpommin hallittavissa olevaa materiaalia.

#### 4.1.1 Homeriskimalli

Homeriskimalli on Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen ja Tampereen teknillisen yliopiston yhteistyössä kehittämä laskentamalli, jota voidaan käyttää materiaalin tai rakenteen homehtumisriskin selvittämiseen kun lämpötila- ja kosteusolosuhteet tiedetään. Kyseinen projekti on vielä keskeneräinen. Enro -projektin mittausdata sopii sellaisenaan käytettäväksi homeriskimallin excel -laskentapohjassa ja vertailun vuoksi on laskettu homeriski alapohjapalkiston osalta. Palkistossa tiedetään sivelynäytteiden analysoinnin perusteella olevan runsaasti homeitiöitä ja laskennallinen malli on lisätyökalu. Alla olevassa kuviossa on laskettu alapohjapalkiston ilmakehässä olevaa homeriskiä.



Kuvio 19. Homeriskilaskelma alapohjapalkistosta

Homeindeksin tulkinnessa käytetään alla olevia taulukoita.

Taulukko 2. Homeindeksit

Home- indeksi	Luokitusperusteet
0	Ei kasvua, pinta puhdas
1	Mikroskoopilla havaittava kasvu, paikoin alkavaa kasvua, muutama rihma
2	Mikroskoopilla havaittava kasvu, useita rihmastopesäkkeitä muodostunut
3	Silmin havaittava kasvu, rihmaston peitto alle 10 % alasta (alkavaa itiöiden muodostusta) TAI Mikroskoopilla havaittava kasvu, peitto alle 50 %
4	Silmin havaittava kasvu, rihmaston peitto noin 10-50 % alasta TAI Mikroskoopilla havaittava kasvu, peitto yli 50 %
5	Silmin havaittava kasvu, paikoin runsas tai rihmaston peitto yli 50 % alasta
6	Erittäin runsas kasvu, rihmaston peitto lähes 100 %

Taulukon perusteella huomataan, että alapohjapalkistossa on erittäin otolliset olosuhteet homeen kasvulle. Hyväksyttävänä tasona mallissa pidetään homeindeksin arvoa  $< 1$ , kun alapohjassa indeksi on maksimissaan 6. Laskennallinen arvio tukee mittausdatan analyysia ja näytteiden tuloksia.

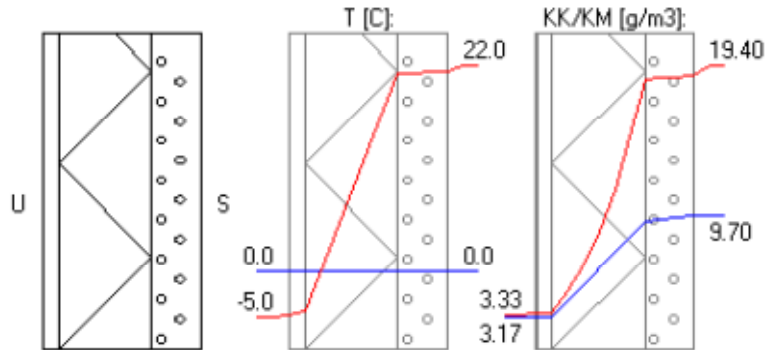
#### 4.1.2 Alapohjan ilmakehän parannukset

Mittausdatan, sivelynäytteiden ja homeriskimallin antamat tulokset vaativat välitömiä toimenpiteitä, jotta mikrobitoiminta saadaan pysäytettyä ja vakavan vaurion riskiä saadaan pienennettyä. Ensimmäisenä toimenpiteenä on aloitettu tuuletus ilmakehässä. Tuuletus kuivattaa rakenteita, mutta ongelmana on rosin ilmakehää viilentävä vaikutus. Tuuletusilma viilenee ilmakehässä ja sen suhteellinen kosteus kasvaa ja on mahdollista, että kosteutta tiivistyy kanavan peltiin. Seuraavassa on pohdittu erästä ratkaisua, jolla estettäisiin ryömintätilan viilentävä vaikutus ilmakehässä.

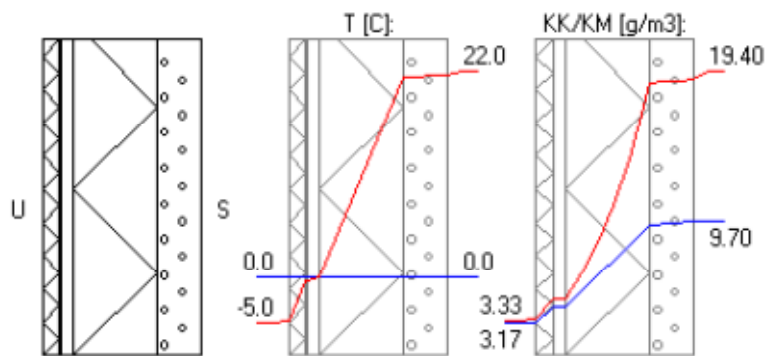
DOF tech Oy:n DOF lämpö ohjelmalla tehtiin rakenteesta simulaatiot maaliskuun ja toukokuun mitattujen olosuhteiden mukaan alkuperäisenä ja siten, että



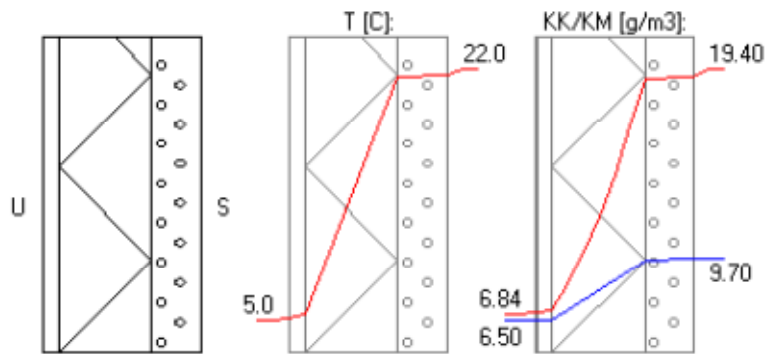
alapohjan peltiin on kiinnitetty 3 cm polyuretaanieriste estämään rossin viilentävää vaikutusta. Alla olevissa kuvioissa on tilanne alkuperäisen ja muutetun rakenteen osalta. DOF lämpö tulosteet ovat liitteenä.



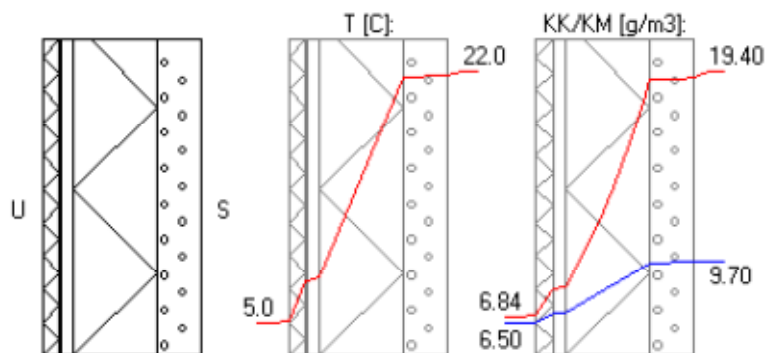
Kuvio 20. Maaliskuu, alkuperäinen rakenne



Kuvio 21. Maaliskuu, muutettu rakenne



Kuvio 22. Toukokuu, alkuperäinen rakenne

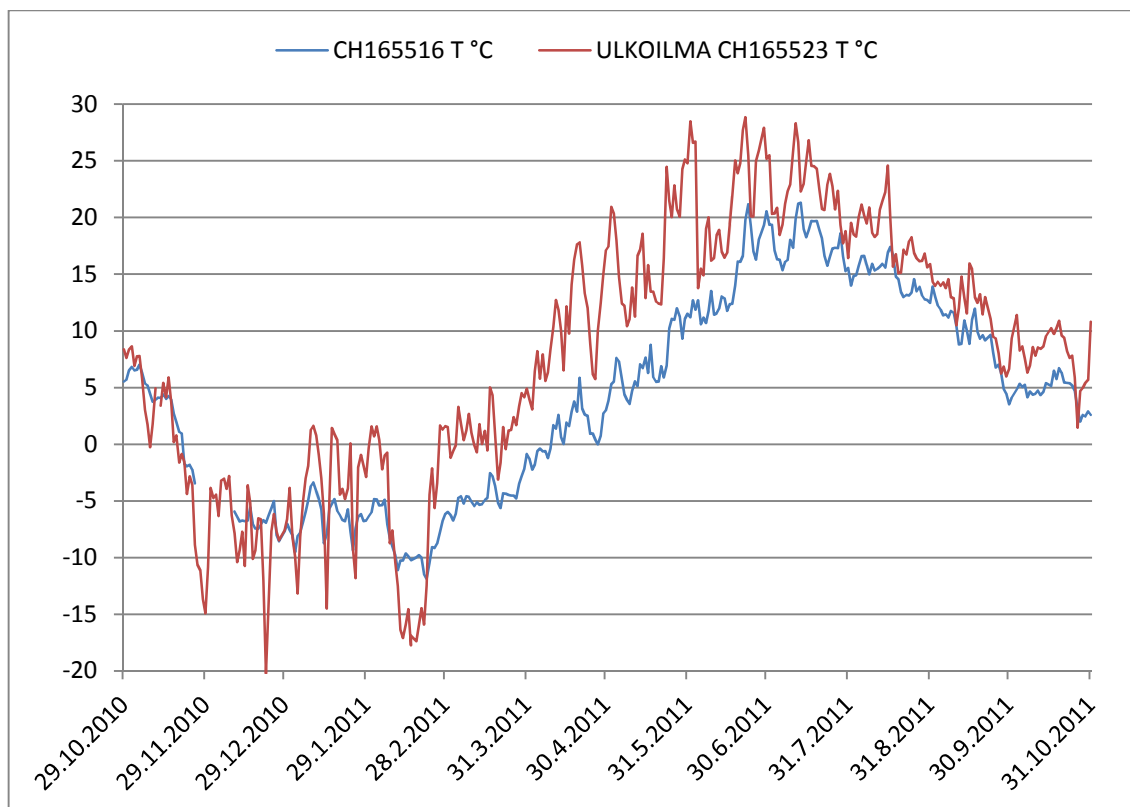


Kuvio 23. Toukokuu, muutettu rakenne

Laskennassa on ilmarako otettu huomioon lievästi tuulettuvana. Ohjelman rajoituksista johtuen ilmarako on tuulettumaton ja lievä tuulettuvuus on huomioitu pienentämällä raon kokoa puoleen. U-arvon laskennassa lievästi tuulettuvan ilmakerroksen lämmönvastus on puolet vastaavan tuulettumattoman ilmakerroksen lämmönvastuksesta (RakMK C4, 5.2.6). Simuloinnista havaitaan, että eristekerros ilmanakanavan ja ryömintätilan välissä vähentää rossin vaikutusta ja nostaa lämpötilaa ilmanakanavassa noin viidellä asteella, kun alapohjan lämpövuoto lämmittää osaltaan ilmatilaa. Lämpötilan nousulla ilman suhteellinen kosteus saadaan laskemaan. Lämpövuoto rakenteessa vähäistä, mutta riittää lämmittämään ilmanakanavaa, mikäli kanava on eristetty rossista. Simulointi ei vastaa täysin todellisuutta, mutta ratkaisua kannattaisi tutkia lisää.

## 4.2 Energiatarkastelu

Projektin lähtöoletuksena ryömintätilassa höyrystinyksikkö on lämmityskaudella ulkoilmaa lämpimämmässä ja näin ollen toimii paremmalla hyötysuhteella kuin ulkoilmassa. Alla olevassa kuviossa on vertailuna ryömintätilan ja ulkoilman lämpötila mittausjaksolta.



Kuvio 24. Lämpötila rossissa ja ulkona

Talvi oli keskimääräistä kylmempi ja sisälsi pitkiä pakkasjaksoja. Mittausjakson alussa ryömintätilan lämpötila laski perusmuurin eristysten puuttumisen vuoksi alle 0 °C eikä suotuisia olosuhteita saavutettu kuin jaksoittain lämmityskauden aikana. Kylmimpien pakkasjaksojen aikana rossin lämpötila pysyy ulkoilmaa lämpimämpänä ja tällöin saatiin vesi-ilmalämpöpumpun hyötysuhteeseen selvää etua. Mittausjaksolla on kuitenkin pitkiä aikoja, jolloin rossin lämpötila on ulkoilmaa viileämpi ja näillä jaksoilla hyötysuhteeseen tulee haittaa. Mittauksia on syytä jatkaa pidempään, jotta järjestelmän kokonaistoimivuudesta ja energiatehokkuudesta ns. normaalitalvena saadaan parempi käsitys.

## 5 YHTEENVETO

Enro -projektiin liittyvien mittausten tarkoitus oli todistaa järjestelmän toimivuus pientalon pääasiallisena lämmitysjärjestelmänä energiatehokkuuden sekä turvallisen ja terveellisen asumisen kannalta. Mittauksilla onnistuttiin todentamaan, että maaperään varastoitunutta lämpöä hyödynnetään ryömintätilaan sijoitetulla höyrystinyksiköllä, ilman että maaperän routitumisella on normaaliolosuhteissa merkitystä rakenteille. Toisaalta oletus siitä, että höyrystinyksikkö kuivattaisi ryömintätilan ilmaa, osoittautui mittausten perusteella virheelliseksi. Ryömintätilan kosteusteknistä toimintaa täytyy parantaa tulevilla ratkaisuisilla ja kosteustilanteen jatkuva seuranta on tarpeen.

Ryömintätilan kylmeneminen mittausjakson alussa vääristää kertynyttä dataa ja on vaikuttanut ensimmäisen talven aikana järjestelmän toimintaan. Alkuvaiheen ongelmat tulivat korostetusti esiin keskivertoa kylmemmän talven aikana. Energiamittauksia vääristää myös se, että asukkaat saapuivat kaikkiin huoneistoihin jakson aikana. Mittausjakson aikana tavoiteltua hyötyä energiankäyttöön ei voitu näistä ongelmista johtuen todentaa. Mittauksia ja järjestelmän käyttöä on syytä jatkaa ja seurata järjestelmän toimintaa vielä toisen lämmityskauden yli, jotta nähdään miten järjestelmä toimii normaalissa olosuhteessa.

## LÄHTEET

Airaksinen M. 2007. Ryömintätilan lämpö- ja kosteustekninen toiminta. Teoksessa Vinha & Korpi (toim) Rakennusfysiikka 2007 Uusimmat tutkimustulokset ja hyvät käytännön ratkaisut. Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikan laitos. 29 - 38.

Björkholtz D. 1987. Lämpö ja kosteus. Rakennusfysiikka. Helsinki. Rakennustieto Oy.

C4, Suomen rakentamismääräyskokoelma. Ympäristöministeriö. Lämmöneristys, ohjeet 2003

Nissilä J. 2011. Energiaa rossista, Oulun seudun ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö

Siikanen U. 2001. Rakennusaineoppi. Helsinki. Rakennustieto Oy.

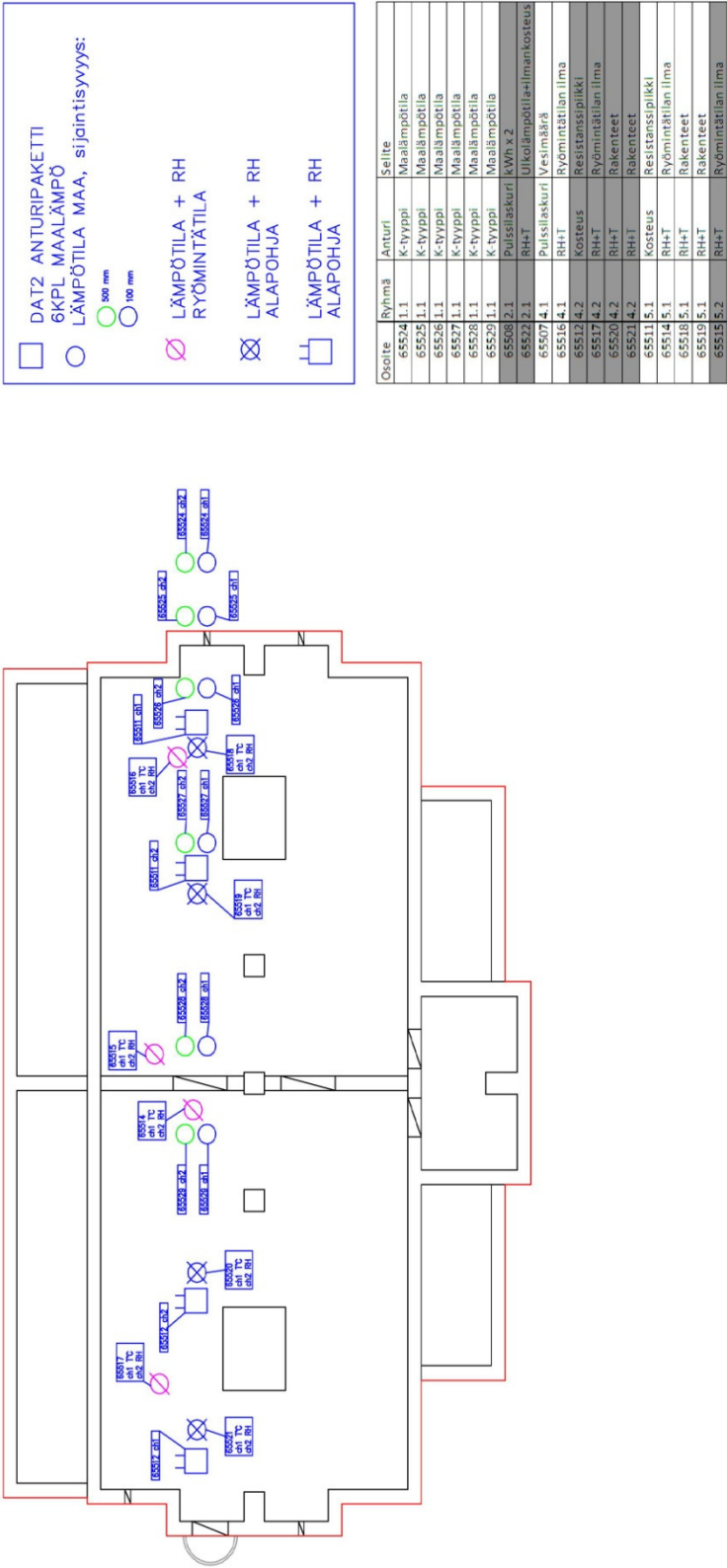
Siikanen U. 1996. Rakennusfysiikka. Perusteet ja sovellukset. Helsinki. Rakennustieto Oy.

Vinha J., Viitanen H., Lähdesmäki K., Peuhkuri R., Ojanen T., Salminen K., Paajanen L., Strander T. & Iitti H. Rakennusmateriaalien ja rakenteiden homehaurastusriskin laskennallinen arviointi. Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikan laitos, Rakennetekniikka, Tutkimusraportti. Julkaistaan 2011.

LIITTEET

Anturikartta talo A

Liite 1



Kosteusmittausraportti 13.6.2011  
Tampereen ammattikorkeakoulu, rakennuslaboratorio

Liite 2: 1 (5)



## KOSTEUSMITTAUKSET

**13.06.2011**

Tuulensuuntie 2 A

VANTAA

14.6.2011

RAKENNUSLABORATORION MITTAUSPALVELU

(jatkuu)

**KOSTEUSMITTAUKSET 13.06.2011****Tilaaja**

ENRO-projekti

**Kohde**

Tuulensuuntie 2 A

VANTAA

**Tutkimus**

Kohteessa mitattiin ryömintätilan kautta alapohjan puupalkkien kosteudet, alapohjan puupalkkien välitilan suhteelliset kosteudet, lämpötilat ja absoluuttiset kosteudet. Lisäksi mitattiin ryömintätilan ja ulkoilman suhteelliset kosteudet, lämpötilat ja absoluuttiset kosteudet.

Mittalaitteet olivat Gann Hydromette RTU-600, Testo 606, Vaisala HMP 41 ja Vaisala HMP 44.

Anturien sijainnit on numeroitu juoksevana kulkuaukosta päin. Mittaukset on tehty kiinteästi asennettujen anturien läheltä, korkeintaan n. 50 cm etäisyydeltä. Mittaukset tehtiin puupalkkien osalta n. 25 mm syvyydeltä ja n. 5 mm syvyydeltä.

Mittaukset tehtiin klo 12.00 – 15.25 välisenä aikana.

Puupalkkien välitilan ilmanvaihto ei ollut mittaushetkellä päällä.



**Mittaustulokset**

pvm. 13.6.2011

Anturin sijainti	Suhteellinen kosteus [rH - %]	Lämpötila [ °C ]	Absoluuttinen kosteus [ g/ m3 ]
1. Ryömintätilan ilma	90,7	9,0	7,8
1. Puupalkkien välitila	98,5	14,9	12,6
2. Ryömintätilan ilma	92,8	8,8	8,1
2. Puupalkkien välitila	100,0	13,3	11,6
3. Ryömintätilan ilma	95,0	9,0	8,3
3. Puupalkkien välitila	99,0	11,4	10,1
4. Ryömintätilan ilma	99,5	9,6	9,1
4. Puupalkkien välitila	98,4	11,6	10,3
Ulkoilma	84,7	13,1	9,9

Anturin sijainti	Kosteus [p - %]
1. puupalkin alapinta 25 mm	49,6
1. puupalkin alapinta 5 mm	39,0
2. puupalkin alapinta 25 mm	28,2
2. puupalkin alapinta 5 mm	26,0
3. puupalkin alapinta 25 mm	53,4
3. puupalkin alapinta 5 mm	44,0
4. puupalkin alapinta 25 mm	89,5
4. puupalkin alapinta 5 mm	yli 44,0

**VAISALA HMP 44 JA HMP42**

suhteellinen kosteus tarkkuus  
0...90 %RH  $\pm 2$  %RH  
90...100 %RH  $\pm 3$  %RH

lämpötila tarkkuus + 20 °C:ssa  $\pm 0,4$  °C.

**HMI41-NÄYTTÖLAITE**

Näyttölaitteen aiheuttama enimmäisvirhe +20 °C:ssa  
kosteus  $\pm 0.1$  %RH  
lämpötila  $\pm 0.1$  °C

Kosteusmittausraportti 13.6.2011

5 (5)

Tampereen ammattikorkeakoulu, rakennuslaboratorio



Rakennuslaboratorio  
Mittauspalvelu  
14.6.2011

Tampereella, 14.06.2011

**Hannu Kauranen**  
Koulutuspäällikkö  
Rakentaminen ja teknologia

**Jarno Oravasaari**  
Laboratoriainsinööri  
Rakennuslaboratorio

5 / 5

Kosteusmittausraportti 7.11.2011  
Tampereen ammattikorkeakoulu, rakennuslaboratorio

Liite 3: 1 (9)



## **RAKENNEAVALUKSET JA KOSTEUSMITTAUKSET**

**07.11.2011**

Tuulensuuntie 2 A

VANTAA

8.11.2011

RAKENNUSLABORATORION MITTAUSPALVELU

(jatkuu)

**RAKENNEVAUKSET JA KOSTEUSMITTAUKSET 07.11.2011****Tilaaaja**

ENRO-projekti

**Kohde**

Tuulensuuntie 2 A

VANTAA

**Tutkimus**

Kohteessa tehtiin 7.11.2011 kaksi rakenneavausta alapohjasta päin. Alapohjan alapinnassa oleva pelti avattiin ja avauskohdassa oleva puu tarkastettiin silmämääräisesti ja valokuvattiin. Näkyvän puun pinnasta otettiin rakenneavauskohdista sivelynäytteet pumpulipuikolla n. 5 x 10 cm alalta mikrobitutkimuksia varten. Mikrobitutkimukset vaativat n. 3 viikon kasvatusajan ja niistä on tulossa erillinen raportti. Näytteet vietiin tutkittaviksi Eurofins Scientific Finland Oy, Hatanpääkatu 3 A, 33900 TAMPERE.

Kohteessa mitattiin ryömintätilan kautta alapohjan puupalkkien alapintojen kosteudet neljästä kohdasta sekä palkin kylkeen naulattujen puiden kosteudet kahdesta rakenneavauskohdasta.

Lisäksi mitattiin ryömintätilan ja ulkoilman suhteelliset kosteudet, lämpötilat ja absoluuttiset kosteudet.

Mittalaitteet olivat Gann Hydromette RTU-600, Testo 606, Vaisala HMP 41 ja Vaisala HMP 44.

Anturien sijainnit on numeroitu juoksevana kulkuaukosta päin. Mittaukset on tehty kiinteästi asennettujen anturien läheltä, n. 0,5 – 1 m etäisyydeltä. Mittaukset tehtiin puupalkkien osalta n. 25 mm syvyydeltä ja n. 5 mm syvyydeltä.

Puupalkkien välitilan ilmanvaihto ei ollut mittaushetkellä päällä.

**Mittausten tekijä**

TAMK Rakennuslaboratorion mittauspalvelu  
Jarmo Oravasaari puh. 050 3306914  
Kuntokatu 3

33520 TAMPERE

2 / 9

Kuntokatu 3  
33520 TAMPERE

Puh. (03) 2452111

(jatkuu)



**Kuva 1.** Rakenneavauskohta 1 ryömintätilan perällä.



**Kuva 2.** Rakenneavauskohta 1. Puun pinnassa on hieman pieniä tummia pilkkuja. Sivelynäytekohta on merkitty.



**Kuva 3.** Rakenneavauskohta 2 ryömintätien kulkuaukon puoleiselta talon osalta.



**Kuva 4.** Rakenneavauskohta 2. Puun pinnassa on hieman enemmän tummentumaa. Pellin sisäpinnan havaittiin avaushetkellä olevan kostea. Sivelynäytekohta on merkitty.

**Mittaustulokset****Ilman kosteudet ja lämpötilat**

Anturin sijainti	Suhteellinen kosteus [rH - %]	Lämpötila [°C]	Absoluuttinen kosteus [g/ m3]
1. Ryömintätilan ilma	92,4	4,8	6,2
2. Ryömintätilan ilma	93,6	5,0	6,3
Ulkoilma	97,3	7,5	7,8

**Puun kosteudet rakenneavauskohdissa**

Anturin sijainti	Kosteus [p - %]
1. rakenneavauskohta n. 20 mm syvyydeltä	21,7
1. rakenneavauskohta n. 5 mm syvyydeltä	17,0
2. rakenneavauskohta n. 20 mm syvyydeltä	25,5
2. rakenneavauskohta n. 5 mm syvyydeltä	18,0

**Puun kosteudet**

Anturin sijainti	Kosteus [p - %]
1. puupalkin alapinta n. 25 mm	17,6
1. puupalkin alapinta n. 25 mm	18,7
2. puupalkin alapinta n. 25 mm	20,0
2. puupalkin alapinta n. 25 mm	21,8
3. puupalkin alapinta n. 25 mm	23,8
3. puupalkin alapinta n. 25 mm	22,7
4. puupalkin alapinta n. 25 mm	21,1
4. puupalkin alapinta n. 25 mm	21,9



**VAISALA HMP 44 JA HMP42**

suhteellinen kosteus tarkkuus  
0...90 %RH  $\pm$  2 %RH  
90...100 %RH  $\pm$  3 %RH

lämpötila tarkkuus + 20 °C:ssa  $\pm$ 0,4 °C.

**HMI41-NÄYTTÖLAITE**

Näyttölaitteen aiheuttama enimmäisvirhe +20 °C:ssa  
kosteus  $\pm$ 0.1 %RH  
lämpötila  $\pm$ 0.1 °C

*Ryömintätilan ilman suhteelliset kosteudet olivat korkeita.*

*Tämä saattaa aiheuttaa homeriskin, koska useat homeet kasvavat lämpötila-alueella +5 ... + 35 °C optimilämpötilan ollessa +20 ... 25 °C, kts. **sisäilmayhdistyksen** teksti jäljempänä.*

*Alapohjan sisällä olevan puurakenteen painoprosenttikosteudet olivat alhaiset ryömintätilaan johtavan kulkuaukon läheisyydestä mitattuna (17,6 p-% ja 18,7 p-%).*

*Rakenneavauskohdista mitattuna puun pintalukemat olivat alhaiset ( 17,0 p-% ja 18,0 p-%), mutta syvemmältä kosteampaa (21,7 p-% ja 25,5 p-%).*

*Muulla puun kosteuskokemat olivat syvemmältä mitattuina hieman kohonneita (20,0 – 23,8 p-%). Korkein puun kosteuskokema (25,5 p-%) mitattiin rakenneavaus 2. kohdasta.*

*Tämä saattaa aiheuttaa lahoamisriskin, koska lahoaminen voi alkaa, kun lämpötila on yli 0 °C ja puun kosteus noin 20 % puun kuivapainosta. Useimmat lahottajat kasvavat nopeimmin 15 ... 25 °C. Useimmat lahottajat vaativat suuren kosteuden, ja niiden kasvu on mahdollista vasta, kun puussa on vapaata soluseiniin sitoutumatonta vettä 40...80 % puun kuivapainosta /1/. kts. **sisäilmayhdistyksen** teksti jäljempänä.*

Lähde: [www.sisailmayhdistys.fi](http://www.sisailmayhdistys.fi)

"Kun puu kostuu, ilmestyvät siihen ensiksi bakteerit sitten homeet ja sinistäjäsienet. Homeet kasvavat nopeammin ja kuivemmissa oloissa kuin lahottajat. Sinistäjäsienet kasvattavat rihmastonsa puun sisään samoin kuin lahottajasienet. Mänty on erityisen herkkä sinistymiselle.

Lahon alkamiseen vaikuttaa puun kosteussisältö, kosteana oloaika, puun ominaisuudet ja lämpötila. Lahoaminen voi alkaa, kun lämpötila on yli 0 °C ja puun kosteus noin 20 % puun kuivapainosta. Useimmat lahottajat kasvavat nopeimmin 15...25 °C:ssa. Pakkaskauden ajaksi lahoaminen pysähtyy, mutta rihmastot eivät kuole. Rihmastot kuolevat yli 50 °C:ssa, mutta sienten itiöt kestävät huomattavasti korkeampiakin lämpötiloja.

Useimmat lahottajat vaativat suuren kosteuden, ja niiden kasvu on mahdollista vasta, kun puussa on vapaata soluseiniin sitoutumatonta vettä 40...80 % puun kuivapainosta /1/. Kuivuneessa puussa lahottajien kasvu pysähtyy, mutta rihmasto ja itiöt saattavat säilyä elinkykyisinä useita vuosia. Suomen puulajit ovat lahoamisherkkiä.

#### Mikrobien kasvuedellytykset

##### Kosteus

Täysin kuivassa ympäristössä mikään mikrobi ei kasva, mutta itiöt säilyvät elinkykyisinä. Vesi on mikrobien kasvulle välttämätön. Jos ilman suhteellinen kosteus on alle 30 %, mikrobit eivät kasva. Jos ilman suhteellinen kosteus on yli 70 %, mikrobikasvu on todennäköinen. Rakennus- ja pintamateriaalien paikallisella kosteudella on huomattavasti suurempi merkitys mikrobikasvun kannalta kuin tilan yleisilman suhteellisella kosteudella.

Kosteusvaatimukset ovat mikrobikohtaisia, esimerkiksi homesienillä ja hiivoilla alin kasvun mahdollistava rakenteen huokosilman suhteellinen kosteus  $RH_{min} = 65 \text{ ? } 85 \%$ , bakteereilla, mm. aktinobakteereilla  $RH_{min} = 95 \%$  ja sinistäjä- ja lahottajasienillä  $RH > 95 \%$ . Suotuisissa olosuhteissa mikrobikasvusto voi kehittyä muutamassa päivässä. Vaihtelevissa kosteus- ja lämpöolosuhteissa mikrobikasvu hidastuu.

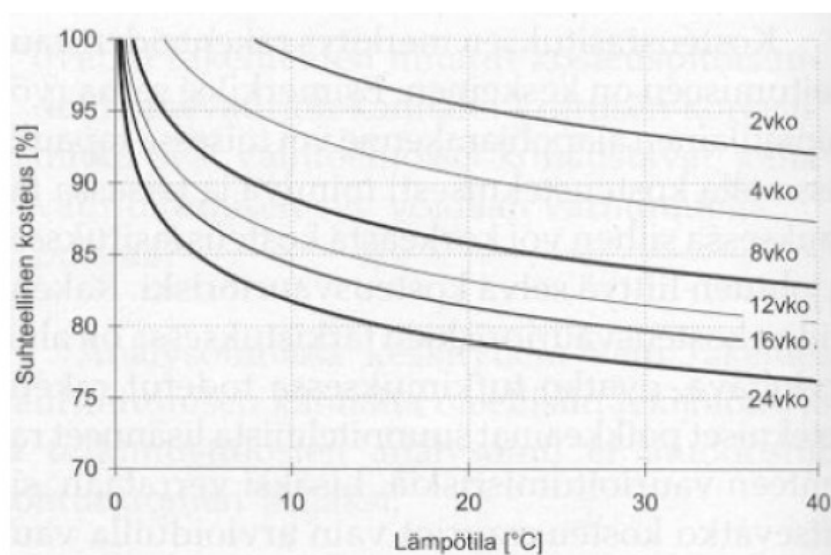
##### Ravinteet

Suomalaisissa rakennuksissa käytetään usein puuta, kipsilevyä, tapetteja ja muita selluloosapitoisia materiaaleja, joten ravinteiden puute ei rajoita mikrobien kasvua rakennuksissa. Toisaalta useimmille lajeille ravinnoksi riittää esimerkiksi huonepöly (mm. tekstiili- ja paperikuituja, hilsettä, mikrobeja, siitepölyä, hiekka- ja elintarvikepölyä).

### Lämpötila

*Mikrobit säilyvät elinkykyisinä laajalla lämpötila-alueella, ja jotkut mikrobit voivat kasvaa korkeissa n. +50°C tai matalissa n. -5°C lämpötiloissa. Rakennusten ja rakenteiden lämpötilat eivät rajoita mikrobikasvua, jos muut kasvuvaatimukset täyttyvät. Mikrobit voivat selviytyä myös pakkasesta ja jotkut lajit pystyvät kasvamaan muutamien plus-asteiden lämpötiloissa.*

**Useimmat homesienet kasvavat lämpötila-alueella +5...35 °C, optimilämpötilan ollessa +20...25 °C."**



**UUNIKUIVATUN MÄNTYSAHATAVARAN KRIITTISIÄ HOMEHTUMISAIKOJA. AJAT ON LASKETTU JULKAISUISSA RAKENTEIDEN KOSTEUSONGELMAT HOME- JA LAHO-ONGELMIEN KEHITTÄMISEN SYINÄ JA MODELLING THE TIME FACTOR IN THE DEVELOPMENT OF MOULD FUNGI ESITETTYLLÄ MALLILLA.**

**LÄHDE: KOSTEUS- JA HOMEVAURIOITUNEEN RAKENNUKSEN KUNTOTUTKIMUS YMPÄRISTÖOPAS 28, YMPÄRISTÖMINISTERIÖ**

Kosteusmittausraportti 7.11.2011

9 (9)

Tampereen ammattikorkeakoulu, rakennuslaboratorio



Rakennuslaboratorio  
Mittauspalvelu  
08.11.2011

Tampereella, 07.11.2011

**Hannu Kauranen**  
Koulutuspäällikkö  
Rakentaminen ja teknologia

**Jarno Oravasaari**  
Laboratorioinsinööri  
Rakennuslaboratorio

Tutkimustodistus sivelynäytteistä ja huomiot 28.11.2011. Liite 4: 1 (2)  
Eurofins Scientific Finland Oy ja Tampereen ammattikorkeakoulu, rakennuslaboratorio.



## Tutkimustodistus

Pirkanmaan ammattikorkeakoulu  
Jarno Oravasaari  
TAMK Rakennuslaboratorio  
Kuntokatu 3  
33520 Tampere



TOD66UE-AR-11-FK001495-01

Asiakaskoodi : FK0000447

Näytteen saapumispäivä: 07/11/2011

Oravasaari Jarno / ENRO-projekti, 7.11.11

Näyte/Tutkimus	Tulos	Log	Menetelmä
<b>T1, näytteenottoala 5 x 10 cm, Tuulensuuntie, alapohjan rakenteiden mikrobit</b> Analyysin aloitus: 08/11/2011 (405-2011-00005840) Bakteripitoisuus, ei todettu aktinomyyteettejä. Sieni-pitoisuus Todettu Penicillium spp. ja Trichoderma spp. Sieni-itiömaaloilla Penicillium -homeen ylikasvu. Sekä Penicillium että Trichoderma ovat mahdollisesti toksineja tuottavia homesukuja. (Asumisterveysopas STM/2003)	15 000 ctu/cm2 > 25 000 ctu/cm2	4,20 > 4,40 -	STM/2003 STM/2003
<b>T2, näytteenottoala 5 x 10 cm, Tuulensuuntie, alapohjan rakenteiden mikrobit</b> Analyysin aloitus: 08/11/2011 (495-2011-00005850) Bakteripitoisuus, ei todettu aktinomyyteettejä. Sieni-pitoisuus Penicillium spp. 100% Penicillium on mahdollisesti toksineja tuottava homesuku. (Asumisterveysopas STM/2003)	0 ctu/cm2 590 ctu/cm2	- 2,76 -	STM/2003 STM/2003

(a) = Akkreditoitu menetelmä

*Kristiina Kallio*

Tampere, 28/11/2011  
Kristiina Kallio  
Analyysipalvelupäällikkö  
+358 400 832 604

Asiakirjojen osittainen kopioiminen on kielletty. Testaustulos koskee vain tutkittua näytettä. Lausunto ei kuulu akkreditoinnin piiriin. Tämä tutkimustodistus on luotu sähköisesti ja se on tarkastettu ja hyväksytty.

**Eurofins Scientific Finland Oy**

Hatanpäänkatu 38  
FI-33300, Tampere  
Finland

Y-tunnus 1514462-1  
www.eurofins.fi  
FoodAgroTampere@eurofins.fi

(jatkuu)

Tutkimustodistus sivelynäytteistä ja huomiot 28.11.2011. 2 (2)  
Eurofins Scientific Finland Oy ja Tampereen ammattikorkeakoulu, rakennuslaboratorio.

Moi, liitteenä kasvatustulokset sivelynäytteistä.

**Aika suuret sieni-itiöpitoisuudet ykkösnäytteessä, se oli sieltä perältä, josta kesällä mitattiin kovat kosteuskokemat.**

**Sädesieniä (aktinomykettejä) ei löytynyt kummastakaan. Penicillium on ulkoilmassa yleinen ja Trichoderma on kosteusvaurioon viittaava mikrobisuku, Asumisterveysohjeen s.157 taulukko 11.**

Raja-arvoja näille ei ole olemassa, kun ovat tekemisissä suoraan ulkoilman kanssa ja näytteet olivat alapohjasta.

Asumisterveysohje sivu 152: 14.2 Rakennusmateriaalinäytteiden tulkinta "Rakennusmateriaaleissa on aina mikrobeja. Erityisesti rakennuksen uloimmissa rakenteissa olevissa materiaaleissa, kuten lämmöneristeissä ja tuloilmasuodattimissa, on luonnostaan ulkoilmasta peräisin olevia mikrobeja. Maaperän kanssa kosketuksissa olevissa alapohjan materiaaleissa voi mikrobeja esiintyä suurinakin pitoisuuksina ilman, että kysymyksessä on kosteusvaurion aiheuttama mikrobikasvu." Nämä sivelynäytteet otettiin paikasta, joka ei ole suoraan kosketuksissa maaperän kanssa, joten tulkinta ei ole ehkä näin selkeä.

Vielä raja-arvoista, Asumisterveysohje, s. 151 14.1 Pintanäytteiden tulkinta "Koska rakennuksen sisäpinnoin ja rakenteisiin on aina kiinnittyneinä yksittäisiä mikrobeja (bakteereja ja sieni-itiöitä), myös puhtailta vertailupinnoilta otetuista näytteistä havaitaan mikrobeja, joskus jopa suurina pitoisuuksina. Kuivien vauriottomien pintojen sieni-itiöpitoisuudet ovat yleensä alle 10 cfu/cm<sup>2</sup>.

**Jos näytteet olisivat olleet sisältä asuntojen puolelta, raja-arvo 1000 cfu/cm<sup>2</sup> (ja vauriopinnan sieni-itiöpitoisuus on vähintään 100 kertaa suurempi kuin vertailunäytteessä) esitetään Asumisterveysoppaassa sivulla 151.**

t:Jarno Oravasaari  
Laboratorioinsinööri

Rakennuslaboratorion mittauspalvelu  
Kuntokatu 3, 33520 TAMPERE

puh. 050 3306914

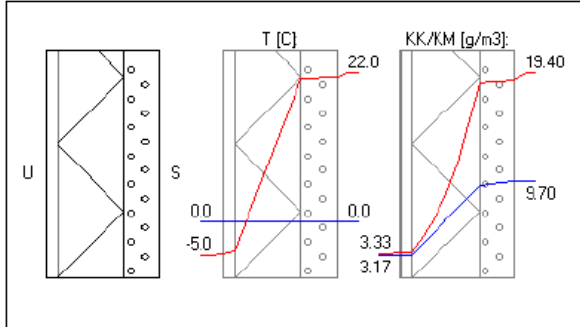
## Tulosteet DOF-lämpö simulaatiosta.

## Liite 5: 1 (4)

Rakennuskohde: Enro-projekti Vantaa	Sisältö: Alapohja	
Suunnittelija:	Päiväys: 17.12.2011	Tunnus: Simulointi 1

## Rakenteen päätiedot:

U-arvo: 0.170 W/m<sup>2</sup>K  
 Paksuus: 255.000 mm  
 Pinta-ala: 1.00 m<sup>2</sup>  
 Paino: 202.50 kg  
 Hinta: 0.00 euro  
  
 Vesihöyryn vastus: 82687.436 m<sup>2</sup>hPa/g  
 Vesih. läpäisykerroin: 0.000012 g/m<sup>2</sup>hPa  
 Lämmönvastus: 5.884 m<sup>2</sup>K/W  
 Pintavastus, ulko: 0.070 m<sup>2</sup>K/W  
 Pintavastus, sisä: 0.130 m<sup>2</sup>K/W  
 Kulma (0-90): 90.000



## Rakenteen kerrostiedot:

Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)

KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHL [gm/Nh]:	Hinta [e/m3]:	Paino [kg/m3]:
1 Teräs	1.00	---	---	0.00	3000.00
2 Tuulettumaton ilmara	24.00	0.2940	6.600000e-04	0.00	0.00
3 Polyuretaani	150.00	0.0270	1.900000e-06	0.00	50.00
4 Betoni	80.00	1.7000	2.160000e-05	0.00	2400.00

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys

## Lämpötilat ja kosteudet:

Maaliskuu 2011 (744.0 h)

Piste:	T [C]:	KK [g/m3]:	KM [g/m3]:	SK [%]:	C [g/m2]:
U	-5.00	3.33	3.17	95.0	0.00
1	-4.68	3.42	3.17	92.6	0.00
2	-4.68	3.42	3.17	92.6	0.00
3	-4.30	3.52	3.17	90.0	0.00
4	21.19	18.52	9.41	50.8	0.00
5	21.40	18.75	9.70	51.7	0.00
S	22.00	19.40	9.70	50.0	0.00

T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

## Lisätiedot:

C:\Users\vr8arleht\Desktop\Enro\_alapohja\_sim1.LAM

(jatkuu)

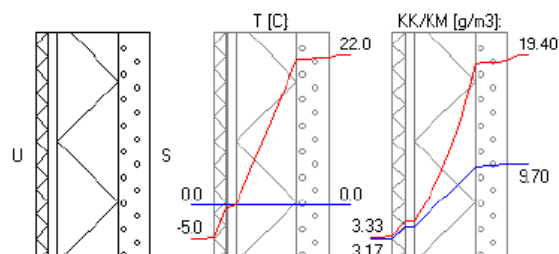
## Tulosteet DOF-lämpö simulaatiosta.

2 (4)

Rakennuskohde: Enro-projekti Vantaa	Sisältö: Alapohja	
Suunnittelija:	Päiväys: 17.12.2011	Tunnus: Simulointi 2

## Rakenteen päätiedot:

U-arvo: 0.143 W/m<sup>2</sup>K  
 Paksuus: 285.000 mm  
 Pinta-ala: 1.00 m<sup>2</sup>  
 Paino: 204.00 kg  
 Hinta: 0.00 euro  
  
 Vesihöyryn vastus: 98476.909 m<sup>2</sup>hPa/g  
 Vesih. läpäisykerroin: 0.000010 g/m<sup>2</sup>hPa  
 Lämmönvastus: 6.995 m<sup>2</sup>K/W  
 Pintavastus, ulko: 0.070 m<sup>2</sup>K/W  
 Pintavastus, sisä: 0.130 m<sup>2</sup>K/W  
 Kulma (0-90): 90.000



## Rakenteen kerrostiedot:

KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHL [gm/Nh]:	Hinta [e/m3]:	Paino [kg/m3]:
1 Polyuretaani	30.00	0.0270	1.900000e-06	0.00	50.00
2 Teräs	1.00	---	---	0.00	3000.00
3 Tuulettumaton ilmara	24.00	0.2940	6.600000e-04	0.00	0.00
4 Polyuretaani	150.00	0.0270	1.900000e-06	0.00	50.00
5 Betoni	80.00	1.7000	2.160000e-05	0.00	2400.00

Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys

## Lämpötilat ja kosteudet:

Piste:	T [C]:	KK [g/m3]:	KM [g/m3]:	SK [%]:	C [g/m2]:
U	-5.00	3.33	3.17	95.0	0.00
1	-4.73	3.41	3.17	93.0	0.00
2	-0.44	4.70	4.21	89.6	0.00
3	-0.44	4.70	4.21	89.6	0.00
4	-0.13	4.81	4.22	87.7	0.00
5	21.32	18.66	9.45	50.7	0.00
6	21.50	18.85	9.70	51.4	0.00
S	22.00	19.40	9.70	50.0	0.00

T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

## Lisätiedot:

C:\Users\r8arleht\Desktop\Enro\_alapohja\_sim2.LAM

(jatkuu)



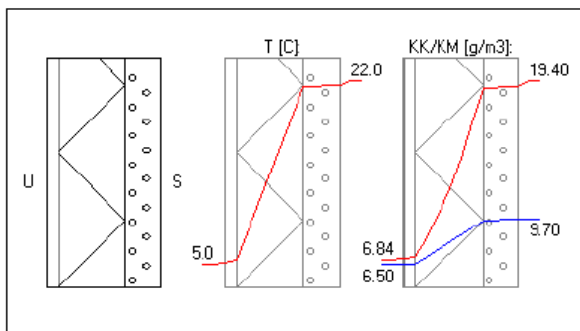
## Tulosteet DOF-lämpö simulaatiosta.

3 (4)

Rakennuskohde: Enro-projekti Vantaa	Sisältö: Alapohja
Suunnittelija:	<div> <div>Päiväys: 17.12.2011</div> <div>Tunnus: Simulointi 1</div> </div>

## Rakenteen päätiedot:

U-arvo: 0.170 W/m<sup>2</sup>K  
 Paksuus: 255.000 mm  
 Pinta-ala: 1.00 m<sup>2</sup>  
 Paino: 202.50 kg  
 Hinta: 0.00 euro  
  
 Vesihöyryn vastus: 82687.436 m<sup>2</sup>hPa/g  
 Vesih. läpäisykerroin: 0.000012 g/m<sup>2</sup>hPa  
 Lämmönvastus: 5.884 m<sup>2</sup>K/W  
 Pintavastus, ulko: 0.070 m<sup>2</sup>K/W  
 Pintavastus, sisä: 0.130 m<sup>2</sup>K/W  
 Kulma (0-90): 90.000



## Rakenteen kerrostiedot:

KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHL [gm/Nh]:	Hinta [e/m3]:	Paino [kg/m3]:
1 Teräs	1.00	---	---	0.00	3000.00
2 Tuulettumaton ilmara	24.00	0.2940	6.600000e-04	0.00	0.00
3 Polyuretaani	150.00	0.0270	1.900000e-06	0.00	50.00
4 Betoni	80.00	1.7000	2.160000e-05	0.00	2400.00

Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys

## Lämpötilat ja kosteudet:

Piste:	T [C]:	KK [g/m3]:	KM [g/m3]:	SK [%]:	C [g/m2]:
U	5.00	6.84	6.50	95.0	0.00
1	5.20	6.94	6.50	93.7	0.00
2	5.20	6.94	6.50	93.7	0.00
3	5.44	7.05	6.50	92.3	0.00
4	21.49	18.84	9.56	50.7	0.00
5	21.62	18.99	9.70	51.1	0.00
S	22.00	19.40	9.70	50.0	0.00

Toukokuu 2011 (730.0 h)

T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

## Lisätiedot:

C:\Users\r8arleht\Desktop\Enro\_alapohja\_sim1.LAM

(jatkuu)

C:\Users\r8arleht\Desktop\Enro alapohja sim2.LAM